N° d'enregistrement
au C.N.R.S.
A.O. 8719

THÈSE

de

DOCTORAT ES-SCIENCES PHYSIQUES

présentée à

L'UNIVERSITÉ DE PARIS VI

par

Monsieur Jacques CHARRA

pour obtenir

le grade de Docteur Es-Sciences Appliquées

Sujet de la Thèse :

Observations à haute résolution de l'émission Lyman-Alpha de l'hydrogène de la chromosphère solaire à bord du satellite D2-A Tournesol

Soutenue le 27 Juin 1973 devant la Commission d'Examen composée de :

Président : M. Jacques BLAMONT

Examinateurs : M. Jean DELLOUE
Mme Monique PICK
M. Philippe DELACHE

T H E S E

DE DOCTORAT D'ETAT ES-SCIENCES PHYSIQUES

présentée

L'UNIVERSITE DE PARIS VI

par

M. Jacques CHARRA

pour obtenir

le grade de Docteur Es-Sciences Appliquées

Sujet de la Thèse :

Observations à haute résolution de l'émission Lyman-Alpha de l'hydrogène de la chromosphère solaire à bord du satellite D2-A Tournesol.

Soutenue le 27 Juin 1973 devant la Commission d'Examen composée de :

Président	M. Jacques BLAMONT
Examinateurs	M. Jean DELLOUE
	Mme Monique PICK
	M. Philippe DELACHE

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Je tiens à exprimer ici ma plus profonde reconnaissance à Monsieur le Professeur J.E. Blamont qui m'a accueilli au Service d'Aéronomie du C.N.R.S. et m'a confié la responsabilité de cette expérience ainsi que pour les encouragements et conseils qu'il m'a donnés depuis 1965.

Je suis heureux de remercier ici tout particulièrement MM. S. Cazes, C. Emerich, A. Vidal-Madjar et R.M. Bonnet pour les fructueuses et amicales discussions que nous avons eues.

Toute ma reconnaissance va également à Monsieur le Professeur Servigne de l'INA et MM. Rentien et Mallen-Herrero du CEA pour leurs conseils et leur aide compréhensive.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans la collaboration et la compétence de nombreux chercheurs, techniciens et administratifs du CNRS et du CNES. Je les en remercie tous chaleureusement.

Je tiens à remercier également MM. J.P. Roffi et G. Levanti de l'aide informatique qu'ils m'ont apportée pour le dépouillement et la visualisation des données.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548005_0016

- SOMMAIRE -

I.- But de l'expérience.

1. La mission du satellite D2-A
2. L'émission Lyman-Alpha solaire
3. But
4. Plan

II.- Spécifications imposées à l'expérience. Principe de l'appareil.

1. Spécifications imposées par le lanceur
2. Spécifications imposées par le satellite
3. Spécifications diverses
4. Spécifications scientifiques
5. Principe de l'appareil
6. Synoptique
7. Fonctionnement de l'appareil

III.- Définition des principaux éléments de l'instrument. Essais. Calibration

1. Introduction
2. Modèles réalisés. Calendrier
3. Définition et essais des sous-ensembles. Résultats partiels
4. Essais de l'expérience complète
5. Essais du satellite complet

IV.- Moyens d'accès à l'information télémesurée.

1. Introduction
2. Contrôle Visuel Immédiat. Direct Data
3. Traitement en Temps Réel
4. Choix des modes de fonctionnement. Prédictions
5. Analyse Technologique différée
6. Traitement Visuel Immédiat
7. Traitement Visuel Amélioré
8. Traitement de Masse

V.- Mise en orbite et comportement en vol. Correction des mesures.

1. Choix des paramètres d'orbite et du créneau de tir
2. La mise en orbite
3. Comportement du satellite en vol
4. Bilan des opérations effectuées pour le satellite en vol
5. Performances du système de pointage
6. Comportement de l'expérience en vol
7. Bilan de 21 mois de fonctionnement de l'expérience
8. Comportement thermique de l'expérience
9. Correction des mesures. Qualité des mesures.

VI.- Résultats.

1. Introduction
2. Résultats obtenus à l'aide des mesures globales
3. Images solaires
4. Conclusion.

Conclusion

Références. Bibliographie

Liste des figures. Figures

I.- But de l'expérience

1.- La mission du satellite D2-A

2.- L'émission Lyman-Alpha solaire
  2.1 Description physique de la raie
    (a) Intensité totale
    (b) Forme
    (c) Variations
  2.2 Origine de la raie Lyman-Alpha solaire
    (a) La chromosphère
    (b) Photographies du soleil à Lyman-Alpha
    (c) Les plages
  2.3 Effet du Deutérium

3.- But de l'expérience Solaire du satellite D2-A

4.- Plan de l'exposé.

I.- But de l'expérience .

1.- La mission du satellite D2-A.

C'est au début de 1963 que J.E. Blamont a proposé le principe des cinq expériences scientifiques qui seraient placées à bord du satellite D2-A rebaptisé Tournesol après sa mise en orbite le 15 avril 1971 (figure 0).

Toutes ces expériences sont étroitement liées entre elles. En effet, pour quatre d'entre elles, la radiation étudiée est la raie Lyman-Alpha de l'hydrogène à λ = 1215,664 Å. Ce sont les expériences : Anti-Solaire, Polarisation, Résonance-Emission-Absorption (R.E.A.) et l'expérience Solaire dont il sera ici question.

Enfin la cinquième expérience est destinée à la mesure d'une autre émission de l'hydrogène : la raie Balmer-Alpha (expérience H-Alpha) (figure 1).

Les rayonnements observés par les expériences du satellite D2-A proviennent de sources très diverses telles que : le Soleil, l'hydrogène interstellaire, les nébuleuses, les étoiles et surtout la géocouronne.

Chaque expérience a donc un but scientifique propre mais, la mission prioritaire de D2-A est l'étude de la géocouronne. Celle-ci se fera donc par différentes méthodes simultanément, ce qui est évidemment d'un intérêt considérable et confère à la mission une originalité supplémentaire.

Le but principal de l'expérience Solaire est la détermination du profil de la raie Lyman-Alpha solaire et sa surveillance au jour le jour.

.Cette émission constitue le plus souvent la source primaire du rayonnement que mesurent les expériences géocoronales. Il devra d'autre part : être recherchée une corrélation entre les variations de l'activité solaire, donc de la raie Lyman-Alpha solaire, et celles des paramètres physiques de la géocouronne.

C'est au rayonnement solaire intégré sur tout le disque solaire qu'est sensible la géocouronne et pour étudier celle-ci il suffirait de connaître ce rayonnement intégré. L'expérience de A. Vidal-Madjar sur OSO-V fournit en principe cette donnée ; c'est pourquoi nous avons tenté d'aller plus loin avec l'expérience Solaire de D2-A en essayant d'obtenir non seulement cette valeur intégrée, mais aussi, le profil en différents points du disque solaire avec une résolution de quelques minutes d'arc, afin de déterminer l'influence de l'activité solaire sur la forme de la raie Lyman-Alpha.

Nous devons donc en principe obtenir des renseignements tant sur les caractéristiques physiques de la source solaire que sur celles des milieux traversés par le rayonnement avant d'atteindre le satellite.

2.- L'émission Lyman-Alpha solaire.

2.1 Description physique de la raie.

(a) Intensité totale.-
L'observation du spectre solaire dans l'ultra-violet lointain fait apparaître que l'énergie du continuum décroît à peu près régulièrement avec la longueur d'onde. D'autre part, la seule raie très intense de ce domaine est la raie Lyman-Alpha, correspondant à la transition 2P-1S de l'atome d'hydrogène (figure 2). D'après Hinteregger (1965) 75% de l'énergie solaire rayonnée dans la bande 900-1300 Å s'y trouve concentrée, ceci correspond à 4,4 ergs/cm^2/sec. (figure 3).

(b) Forme.-
La raie Lyman-Alpha est émise par la chromosphère et ses caractéristiques dépendent donc des propriétés de cette région du Soleil. Des spectres de résolution relativement élevée de la région Lyman-Alpha ont été obtenus par Purcell et Tousey (1961) (figure 4).

La raie Lyman-Alpha a une largeur à mi-hauteur de 0,6 Å environ. Elle présente un renversement central comme les raies H et K du Ca II. Mais dans le cas de Lyman-Alpha, ce renversement est composé de deux parties : une raie profonde et étroite sur une raie beaucoup plus large mais moins profonde.

Le puits central étroit est dû à l'absorption par l'hydrogène froid de la géocouronne, tandis que le puits large provient de la fonction source du milieu émissif.

La distance entre les pics d'émission est un peu supérieure à 0,3 Å.

Le pic de plus courte longueur d'onde semble être, en général, légèrement plus intense que l'autre.

(c) Variations.-
Toutes les mesures effectuées montrent que la raie Lyman-Alpha solaire varie tant du point de vue de l'intensité totale que de celui de son profil (cf : sensibilité de l'expérience § II-4).

Ainsi J.E. Blamont et A. Vidal-Madjar (1971) ont mesuré des variations notables de l'émission chromosphérique intégrée, en bonne corrélation avec les indices d'activité solaire tel que le nombre de Zurich et le flux à 2800 MHz.

2.2 Origine de la raie Lyman-Alpha solaire.

(a) La chromosphère.-
D'après les calculs effectués à partir de modèles de la chromosphère, la raie est émise entre 1200 et 2200 kilomètres d'altitude. Les ailes proviennent des couches les plus profondes dont la température est voisine de 7000°K, tandis que les régions les plus hautes, correspondant au plateau thermique à 20 000°K et au delà, participent au modelage du centre de cette raie.

Dans ces milieux la densité électronique est de 10^{10} à 10^{11} électrons par centimètre cube.

(b) Images du Soleil à Lyman-Alpha.-
Le premier spectrohéliogramme à Lyman-Alpha a été obtenu par Mercure et al. (1954), sa résolution était faible. Une résolution d'une demi-minute d'arc a été obtenue par Purcell et al. (1959). Puis W.A. Sloan (1968) a montré l'existence de structures fines de dimensions voisines de 2 secondes d'arc entre lesquelles les rapports d'intensité pouvaient atteindre 1,7.

Enfin tout récemment, D.K. Printz (1972) a obtenu des photographies complètes du Soleil à Lyman-Alpha avec une résolution spatiale de 3 secondes d'arc. Elles font apparaître très nettement les régions actives, des filaments et le réseau de supergranulation.

(c) Les plages.-
Toutes ces mesures mettent en évidence une augmentation sensible d'intensité de l'émission Lyman-Alpha au niveau des plages.

Les spectres de cette même raie obtenus par Purcell et Tousey (1960) et Bruner (1972) confirment cet effet. Ils font apparaître de plus que la distance entre les pics d'émission est plus faible pour les plages que pour les régions calmes alors qu'elle augmente au voisinage du bord du disque.

2.3 Effet du deutérium.

Le profil de la raie Lyman-Alpha de l'hydrogène peut être modifié par la raie de résonance du deutérium centrée à 1215,334 Å (figure 4).

T.D. Kinman (1956) a calculé une limite supérieure de la concentration du deutérium chromosphérique par rapport à l'hydrogène. Le deutérium étant facilement détruit par les réactions nucléaires se produisant aux températures de la zone de convection, ce rapport n'est que de 4.10^{-5}. La concentration du deutérium dans les régions actives, et plus particulièrement les éruptions, fait l'objet de vives controverses. Selon Severny (1957) elle ne dépasserait pas 10^{-4}, Goldbert, Mohler et Muller (1958) la voient croître jusqu'à quelques pour-cent, tandis que Koval (1960) la trouve plus faible que pour le soleil calme. Sur Terre, la proportion de deutérium présent dans l'hydrogène n'est que de $1.4\ 10^{-4}$. Elle est supérieure dans la haute atmosphère et augmente avec l'altitude. Elle serait de l'ordre de $1.7\ 10^{-2}$ à 500 kilomètres.

Ces quelques valeurs montrent que les modifications de profil dues au deutérium ne sont vraisemblablement pas très spectaculaires et que leur mise en évidence nécessite une grande précision des mesures.

3.- But de l'expérience Solaire du satellite D2-A.

Il découle de ce qui vient d'être dit de la raie Lyman-Alpha que les buts de l'expérience sont de deux types : solaires et géocoronaux.

Etant donné l'inhomogénéité de la chromosphère, le premier but consiste à

comparer, entre elles, les émissions dues aux différents points de la surface solaire, et celle reçue de l'ensemble de cette surface déjà observée par l'expérience dont disposent J.E. Blamont et A. Vidal-Madjar à bord du satellite OSO-V.

Cette étude comportera pour chaque région considérée, la mesure de l'énergie globale de la raie ainsi que la mesure de l'intensité en son centre et dans son aile bleue, à la longueur d'onde de résonance du deutérium. Ces informations permettent, en particulier, d'étudier les variations de profil de l'émission solaire avec l'activité de la région source.

Le deuxième but est de surveiller l'émission solaire, celle-ci devant être corrélée à l'activité solaire, elle-même caractérisée par différents indices : nombre de Zurich, flux à 10,5 cm...

L'expérience Solaire du satellite OSO-V permet une telle surveillance, il est toutefois avantageux d'y accéder à l'endroit et à l'instant même où se font les mesures géocoronales de D2-A.

Si l'exploration par points de la surface solaire permet à l'expérience D2-A d'obtenir des informations solaires plus détaillées que celles qui peuvent être obtenues par l'expérience OSO-V, l'orbite prévue pour D2-A (elliptique, inclinée à 46° sur le plan de l'équateur) est peu favorable à une étude de l'absorption géocoronale. L'orbite équatoriale et circulaire d'OSO-V permet par contre de s'affranchir des paramètres de latitude et d'altitude et de ne plus considérer que l'heure locale, l'effet Doppler et l'activité solaire.

Dans certaines configurations d'orbite, le rythme de mesure élevé de l'expérience Solaire D2-A lui donne toutefois la possibilité de calculer directement des épaisseurs optiques dans la géocouronne, à partir de la mesure d'intensité au centre de la raie.

En effet, au voisinage des crépuscules (figure 5), lorsque la ligne de visée de l'expérience se trouve dans le plan de l'orbite, des mesures sont effectuées en deux endroits différents d'une même ligne de visée.

Enfin, il est également possible d'observer l'absorption brutale que subit la raie Lyman-Alpha à une altitude voisine de 100 kilomètres.

4.- Plan.

Après avoir exposé le but de l'expérience Solaire ce travail présente les spécifications imposées à l'expérience par sa mission et celles qui le sont par le satellite et son lanceur.

De l'affrontement de ces différentes nécessités sortira le schéma de l'expérience et les grandes lignes de son mode de fonctionnement que nous décrirons succintement. La définition technique de l'expérience a déjà fait l'objet des tomes II et IIbis de "L'expérience D2" (Service d'Aéronomie du C.N.R.S., Nov-Déc 1966).

Il nous faudra ensuite décrire les principaux éléments de l'expérience, leur mise au point et les contrôles dont ils sont l'objet.

Puis, toujours dans un ordre chronologique, nous exposerons : les essais pratiqués sur certains sous-ensembles et leurs réglages, la qualification et la calibration de l'expérience, et finalement les vérifications effectuées une fois l'expérience montée sur le satellite et ceci jusqu'au tir.

Après cette première grande partie qui concerne essentiellement l'expérience au sol, nous présenterons : les moyens d'accès aux informations télémesurées et le traitement préliminaire des données, le comportement de l'expérience en vol, et enfin les résultats obtenus.

II.- Spécifications imposées à l'expérience. Principe de l'appareil

1.- Spécifications imposées par le lanceur

2.- Spécifications techniques imposées par le satellite
- 2.1 Volume disponible
- 2.2 Poids disponible
- 2.3 Tension d'alimentation
- 2.4 Puissance disponible
- 2.5 Télécommandes
- 2.6 Télémesure
- 2.7 Signaux de synchronisation
- 2.8 Interfaces mécaniques
- 2.9 Alignement. Pilotage
- 2.10 Température
- 2.11 Interfaces électriques
- 2.12 Interfaces magnétiques

3.- Spécifications diverses
- 3.1 Haute fréquence
- 3.2 Vide
- 3.3 Déformations
- 3.4 Durée de vie
- 3.5 Propreté

4.- Spécifications scientifiques. Sensibilité

5.- Principe de l'appareil
- 5.1 Grandeurs déterminantes
- 5.2 Champ de l'expérience
- 5.3 Principe de la cellule à résonance absorption. Rendement de résonance - Atténuation
- 5.4 Principe du système optique. Evaluation de la transmission
- 5.5 Précision et nombre de mesure
- 5.6 Analyse spatiale du champ

6.- Synoptique de l'expérience
- 6.1 Structure mécanique
- 6.2 Boitiers détecteurs
- 6.3 Système optique
- 6.4 Modules électroniques

7.- Fonctionnement de l'expérience
- 7.1 Remarque préliminaire
- 7.2 Télécommandes
- 7.3 Cycles de fonctionnement

II.- Spécifications imposées à l'expérience - Principe de l'appareil.

1.- Spécifications imposées par le lanceur.

Le lanceur Diamant-B permet la mise en orbite d'un satellite d'une centaine de kilogrammes, à une altitude moyenne de 600 kilomètres, pour une orbite inclinée de 46° sur le plan de l'équateur (cf : § V-1 Choix des paramètres d'orbite, figure 50).

La seule autre contrainte, imposée par le lanceur aux expériences, est le niveau des vibrations qu'il engendre pendant son fonctionnement. Les tableaux suivants donnent les niveaux d'excitation appliqués au satellite lors des essais de qualification. Par définition l'axe Z correspond à la direction de poussée de lanceur.

.Vibrations sinusoïdales

Axe	Fréquence (Hz)	Niveau (g)	Durée
Z	10 à 50	2	2 octaves/mn
	50 à 500	6	
	500 à 2000	12	
X et Y	10 à 50	1	2 octaves/mn
	50 à 500	1.5	
	500 à 2000	2.5	

.Vibrations aléatoires (bruit blanc)

Axe	Gamme de fréquence	Niveau	Durée
X, Y et Z	20 à 2000 Hz	0,07 g^2/Hz	3 mn/axe

2.- Spécifications techniques imposées par le satellite.

Remarque préliminaire.
Les spécifications qui suivent, ne sont pas toujours celles qui furent données au début du projet, mais celles qui ont finalement été retenues après quelques demandes supplémentaires des expérimentateurs.

2.1 Volume disponible.

En vol, le satellite D2-A doit être stabilisé de façon à ce que l'axe de son tube central soit dirigé vers le Soleil. Le plus simple est donc que l'expérience Solaire soit placée dans ce tube en compagnie de l'expérience Anti-Solaire.

Le volume disponible pour ces deux expériences constitue un cylindre de 200 millimètres de diamètre et d'environ 650 millimètres de longueur. D'autre part, le plateau supérieur du satellite est aménagé pour recevoir 32 modules d'électronique. Le volume correspondant à 6 d'entre eux est attribué à l'expérience Solaire (figure 6).

2.2 Poids disponible.

La masse totale des appareils scientifiques qui peuvent être placés à bord de D2-A est de l'ordre de 22 Kg. Elle est également répartie entre le tube central et un tore entourant sa partie inférieure (figure 1).

La masse attribuée à l'expérience Solaire est voisine de 8 Kg. Il s'y ajoute presque 4 Kg pour les modules.

2.3 Tension d'alimentation disponible (bus line).

La tension d'alimentation continue délivrée par le satellite peut théoriquement varier entre 15 et 24 volts.

2.4 Puissance disponible.

La puissance nominale délivrée par le générateur solaire est de 50 watts. La consommation moyenne attribuée à l'expérience est de 6 watts sous 15 volts. La puissance de pointe peut atteindre le triple pendant de faibles durées. Un fusible protège le satellite en cas de court-circuit dans l'expérience.

2.5 Télécommandes.

Soixante-dix ordres de télécommande différents peuvent être utilisés pour l'ensemble du satellite, six d'entre eux sont réservés à l'expérience Solaire.

2.6 Télémesure.

Le format de télémesure dure 64 secondes. Il comporte 1024 mots de 8 bits. Le rythme d'enregistrement normal est donc de 128 bits par seconde.

Environ 900 mots sont affectés aux expériences dont 402 à l'expérience Solaire.

2.7 Signaux de synchronisation.

Le codeur du satellite D2-A délivre des signaux d'horloge qui sont utilisés pour élaborer la logique de fonctionnement de l'expérience et la synchroniser à celle du satellite.

Six signaux, ayant des périodes comprises entre 4096 et 1/64 Hz, sont utilisés. Il s'y ajoute cinq signaux provoquant la lecture des différentes mesures, la mise en calibration interne et le fonctionnement programmé de l'expérience pendant la phase ensoleillée de l'orbite.

2.8 Interfaces mécaniques.

(a) Les modules d'électronique doivent être conformes aux normes standards de ceux qui sont propres au satellite et avec lesquels ils cohabitent.

(b) L'ensemble Solaire-Anti Solaire doit avoir une structure autoportante. A sa base six points de fixation le lieront à une couronne de centrage située au fond du tube central. Un pion assure le positionnement précis en rotation.

La partie haute de l'expérience Solaire doit porter 3 patins, réglables en appuis sur le tube central.

(c) Le plateau supérieur de l'expérience doit être aménagé pour recevoir les senseurs solaires.

(d) Le centre de gravité de l'ensemble Solaire-Anti Solaire doit se trouver à une faible distance de son centre géométrique.

2.9 Alignement et pilotage.

Pour assurer un alignement correct des axes géométriques du satellite, électro-optiques des senseurs solaires et optiques de l'expérience : le défaut de parallélisme entre les faces supérieure et inférieure de l'ensemble Solaire-Anti Solaire ne doit pas dépasser la minute d'arc.

Les performances attendues du système de pilotage par jets d'azote qui équipe le satellite D2-A sont les suivantes :

.le pointage de l'axe mécanique de l'expérience Solaire en direction du Soleil doit être obtenu avec une précision supérieure à 30 minutes d'arc ,

.la vitesse de dérive de cet axe doit être inférieure à 90 secondes d'arc par seconde de temps ,

.la vitesse de rotation du satellite autour de son axe de pointage sera maintenue à 1 tour par minute à 10% près.

2.10 Température .

Le système de contrôle thermique du satellite est de type passif. Il est réglé par le jeu des puissances absorbées et émises par la peau. Les revêtements, dont celle-ci est pourvue, sont calculés pour un satellite normalement pointé en direction du Soleil.

Le calcul indique qu'en toutes circonstances, la température de l'expérience Solaire ne devrait pas descendre en-dessous de 0°C (satellite non pointé) ni monter au-dessus de + 60°C (orbites plein soleil). Il faut toutefois s'attendre à une différence de température voisine de 20 degrés entre les extrémités de l'expérience et à d'importantes variations de température de sa partie supérieure liées à l'alternance jour-nuit.

2.11 Interfaces électriques.

Un cahier des charges détaillé prévoit les impédances d'entrée et de sortie des différents circuits de l'expérience, définit les circuits de masse et fixe les niveaux de bruits électriques tolérables.

2.12 Interfaces magnétiques.

Afin de limiter les couples perturbateurs dus au champ magnétique terrestre, et par conséquent d'abaisser la consommation en gaz de pilotage, les matériaux utilisés pour la construction de l'expérience doivent être autant que faire se peut magnétiquement neutres. Le cablage sera torsadé là où les courants électriques sont importants.

La sensibilité de l'expérience ne doit pas être modifiée par son déplacement dans le champ magnétique terrestre.

3.- Spécifications diverses.

3.1 Haute fréquence .

L'émetteur du satellite produit un champ haute fréquence (à la fréquence de 136 MHz). Le fonctionnement de l'expérience ne doit pas s'en trouver perturbé.

3.2 Vide .

En vol l'expérience se trouvera dans un vide très poussé, des essais optiques se font également sous vide. Les circuits de haute tension doivent

être isolés en conséquence, afin d'éviter que des décharges s'amorcent. Les pièces mécaniques ne peuvent être trop étanches afin de ne pas allonger inutilement les durées de pompage et de dégazage.

3.3 Déformations.

Etant donné les précisions d'alignement nécessaires, toutes les précautions seront prises pour éviter de déformer l'expérience. Elle devra donc être transportée et maintenue horizontale dans un support adapté lors des essais.

L'expérience portera à sa partie supérieure des points d'attache, destinés à sa manutention.

3.4 Durée de vie.

L'ensemble du satellite et des expériences doit pouvoir fonctionner au moins six mois en orbite.

3.5 Propreté.

Les matériaux optiques utilisables dans l'ultra-violet lointain sont très sensibles à la pollution par les graisses et la vapeur d'eau. Leur efficacité est également diminuée par les poussières.

Ceci impose donc de nettoyer et de dégraisser complètement les éléments avant leur assemblage, et de maintenir les expériences et le satellite dans des conditions de propreté très sévères.

Les mécanismes devant fonctionner sous vide et sans lubrifiants volatils devront être réalisés en conséquence.

4.- Spécifications scientifiques.

Afin d'atteindre le but scientifique fixé, l'expérience doit permettre la mesure du flux solaire en différents points connus de la chromosphère et pour son ensemble.

Une résolution spatiale de quelques minutes d'arc est suffisante pour isoler des plages, après traitement des données elle devrait permettre d'observer des éruptions.

Dans chacun de ces cas, il est nécessaire d'obtenir l'intensité globale de la raie Lyman-Alpha et un maximum d'informations sur le profil de cette raie.

Sensibilité.

Au moment de la conception de l'expérience, l'intensité et le profil de la raie Solaire étaient fort mal connus. Ceux-ci ayant été mesurés lors de quelques tirs de fusées sondes, leur évolution dans le temps l'était encore moins.

A la suite de mesures effectuées le 21 juillet 1959, Purcell et Tousey (1959) ont donné une intensité globale de la raie Lyman-Alpha de $3,7\ 10^{11}$ photons cm^{-2} sec^{-1}. Hinteregger (1965) publie une intensité absolue en août 1961 de $2,7\ 10^{11}$ photons cm^{-2} sec^{-1}. Enfin Parker et Bruner normalisent les profils de raie qu'ils ont obtenus le 14 avril 1966 par une intensité de $3,2\ 10^{11}$ photons cm^{-2} sec^{-1}, ce qui les conduit aux valeurs respectives de 4,8 et $2,8\ 10^{11}$ photons cm^{-2} sec^{-1} $Å^{-1}$ pour les pics et le fond du renversement solaire.

La figure 7 donne les prévisions d'activité solaire pour le vingtième cycle solaire (octobre 1964 - octobre 1975). Elles diffèrent peu de la moyenne des cycles connus. Ces prévisions font apparaître qu'au moment du tir du satellite D2-A, c'est-à-dire en avril 1971, le maximum d'activité sera dépassé et que celle-ci devrait être, au plus, de l'ordre de celle qui était associée aux mesures qui viennent d'être données.

5.- Principe de l'appareil.

5.1 Grandeurs déterminantes.

Les caractéristiques de l'appareil de mesure solaire sont définies à partir de son but et de quelques grandeurs numériques : intensité du flux incident - précision du pointage et diamètre apparent du soleil, enfin volume de la télémesure disponible.

5.2 Champ de l'expérience.

Il découle immédiatement de la précision du pointage et du diamètre apparent du Soleil que, pour que l'ensemble du Soleil soit en permanence dans le champ de l'expérience, celui-ci doit avoir un diamètre angulaire de 92 minutes d'arc.

5.3 Principe de la cellule à résonance-absorption (J.L. Bertaux et al. 1966).

La raie Lyman-Alpha émise par les atomes d'hydrogène peut exciter ces mêmes atomes qui, au moment où ils se désexcitent, émettent à leur tour un photon Lyman-Alpha. Ce phénomène de résonance qui se produit naturellement dans la géocouronne, la raie Lyman-Alpha solaire excitant les atomes d'hydrogène qui s'y trouvent, est à l'origine de l'émission Lyman-Alpha géocoronale.

Cette raie géocoronale est caractéristique à la fois de la raie excitatrice et du milieu résonnant. En particulier, pour les faibles épaisseurs optiques, sa largeur ne dépend que de la température des atomes résonnants (profil Doppler) et son intensité est proportionnelle à celle de la raie Solaire à la longueur d'onde de résonance.

La cellule à résonance fonctionne exactement sur ce principe.

Une enceinte pourvue de deux fenêtres, placées face à face, et d'une fenêtre latérale, est remplie d'hydrogène (figure 8). Un filament placé hors de la visibilité des fenêtres permet, lorsqu'il est chauffé, de dissocier les molécules d'hydrogène en atomes.

Si le flux Lyman-Alpha solaire pénètre dans la cellule par la fenêtre d'entrée, selon son axe, les filaments n'étant pas chauffés, il n'y a pas d'interaction entre les molécules du gaz de remplissage et la lumière incidente.

Un détecteur placé en face de la fenêtre de sortie mesure donc, à la transmission des fenêtres près, le flux incident (voie absorption).

Lorsque les filaments sont chauffés les molécules sont dissociées et il apparaît une interaction résonnante entre la lumière incidente et les atomes produits.

La lumière de désexcitation, diffusée dans toutes les directions, est proportionnelle à la lumière incidente dans une bande passante de l'ordre du centième d'angström. Elle peut être mesurée par un détecteur placé selon l'axe de la fenêtre latérale (voie résonance).

La bande passante est déterminée par la distribution Maxwellienne des vitesses des atomes créés, à la température de la cellule.

Dans le cas de l'hydrogène à 300°K elle est de 0,015 Å, centrée à 1215,664 Å.

Une telle cellule peut donc être utilisée comme un filtre à bande passante étroite.

En raison de la très grande différence de largeur qui existe entre la raie Solaire et la bande dans laquelle se produit la résonance, la proportion de flux solaire absorbée est de l'ordre de un pour-cent. La mesure du flux total de la raie peut donc se poursuivre sur la voie absorption au cours des mesures de résonance.

L'utilisation d'une telle cellule ne donne malgré tout qu'un point du profil de la raie Solaire.

Une autre cellule, remplie de deutérium, donne dans les mêmes conditions un autre point de mesure dans l'aile bleue de la raie solaire, à la longueur d'onde de résonance du deutérium : 1215,334 Å. La bande passante est dans ce cas de 0,011 Å.

Enfin, il est possible de tirer profit de l'effet Doppler que provoque le mouvement du satellite autour de la Terre (figure 9).

La vitesse relative maximale est obtenue lorsque l'angle Satellite-Terre-Soleil prend la valeur de 90°.

Pour une vitesse du satellite de 7 km/sec, la longueur d'onde de résonance est déplacée d'environ six centièmes d'angström, du rouge vers le bleu, au cours de la phase ensoleillée du satellite (figure 10).

Cette méthode ne permet donc d'explorer qu'une partie du profil de la raie solaire, mais avec une résolution spectrale excellente, impossible à obtenir par une autre méthode dans le volume imparti.

Rendement des cellules - Atténuation.

C'est environ un pour-cent du flux Lyman-Alpha solaire qui excite les atomes contenus dans la cellule. La lumière de résonance est diffusée dans toutes les directions et la partie mesurable depuis la fenêtre de résonance est contenue dans un angle solide limité. Il peut donc être défini un rendement de résonance qui est le rapport entre le flux incident absorbé par résonance et le flux réémis mesuré. La valeur de ce rapport est mesurée au laboratoire (cf § III-3-9.3). Elle est de l'ordre de $3\ 10^{-3}$.

Il faut donc prévoir qu'il existera un rapport d'intensité de l'ordre de $3\ 10^{4}$ entre les flux transmis et résonnants à mesurer. Un atténuateur situé entre la fenêtre de sortie absorption de la cellule et le détecteur correspondant ramènera ce rapport au voisinage de l'unité.

5.4 Principe du système optique de l'expérience.

.Le flux solaire devant être mesuré en différents points de la chromosphère, le système optique de l'expérience doit nécessairement assurer la formation d'une image,

.L'utilisation des cellules à résonance permet d'isoler des bandes passantes étroites, mais la mesure du flux intégré de la raie Lyman-Alpha par les voies absorption suppose une prédispersion du spectre solaire. Etant donné l'intensité de la raie Lyman-Alpha par rapport au fond continu et aux autres raies qui l'entourent : la bande passante peut être relativement large.

La résolution souhaitée de quelques minutes d'arc permet de tolérer, sans conséquences importantes, quelques aberrations optiques.

Pour des raisons d'alignement, enfin, les éléments optiques doivent être d'une grande rigidité.

Ces différentes conditions font choisir un réseau concave pour jouer à la fois le rôle de collecteur, de prédisperseur et de focalisateur.

En effet, les filtres à Lyman-Alpha, récemment mis au point, sont d'une utilisation délicate étant donné les conditions de vibration et d'ensoleillement. Les matériaux transparents dans le domaine de Lyman-Alpha sont des monocristaux (LiF, $Mg\ F_2$) difficiles à polir et à obtenir dans de grandes dimensions. Ils présentent aussi l'inconvénient d'être fragiles et polluables.

(a) Schéma optique (figure 11).-

Pour des raisons de redondance et d'utilisation du volume disponible, le système optique a été séparé en deux parties indépendantes, l'une pour l'hydrogène, l'autre pour le deutérium.

Afin de ne pas provoquer d'échauffements exagérés et de protéger les optiques contre une illumination ultra-violette permanente, des obturateurs ferment l'expérience en dehors des périodes de mesure.

Lorsque ceux-ci sont ouverts, deux faisceaux de lumière solaire pénètrent dans l'expérience et tombent sur les réseaux concaves de 500 mm de distance focale. Une image du Soleil en Lyman-Alpha est formée dans le plan focal des réseaux.

Un système de quatre miroirs plans coude les deux faisceaux de façon à ce que les deux images se forment dans le plan d'un disque sélecteur, pouvant être animé d'un mouvement de rotation pas-à-pas.

Des petits trous percés dans ce disque (cf : § II.5.6) permettent l'exploration des images point par point, tandis que deux grandes ouvertures donnent la mesure du flux intégré sur toute la surface du Soleil (figure 12).

La lumière qui traverse le disque sélecteur pénètre dans les deux cellules à résonance. Quatre photomultiplicateurs placés sur les axes de sortie des cellules assurent les mesures d'absorption et de résonance.

Enfin, étant donné la taille respective des fenêtres de sortie absorption des cellules et celles, plus faibles, des détecteurs correspondants, une lentille de champ est placée entre ces éléments. Cette lentille est traitée de façon à jouer, en outre, le rôle d'atténuateur (cf : § II.5.3).

Le système optique est complété par un jeu de trois miroirs et par une lampe à décharge remplie d'hydrogène, utilisée pour la calibration au sol et en vol de l'expérience.

Un miroir de référence, plaqué sur la partie supérieure de l'expérience, permet de matérialiser un plan utile aux contrôles et aux réglages d'alignement.

(b) Evaluation de la transmission optique.-
La transmission qu'il est important de calculer à priori est celle des voies de résonance, celle des autres voies nécessite de toutes façons une puissante atténuation.

Les rendements qui peuvent être espérés sont les suivants :

un réseau	:	40%	
deux miroirs	:	70%	
deux fenêtres	:	40%	
rendement de résonance	:	0,3%	
rendement quantique	:	20%	(photomultiplicateur latéral)
rendement du comptage	:	60%	

Il en résulte une transmission prévue de l'ensemble de $4\ 10^{-5}$ coups comptés par photon Lyman-Alpha entrant dans l'expérience.

5.5 Précision et nombre de mesures .

Pour un volume d'information donné, le choix d'une précision de mesure fixe le nombre de mesures et inversement.

Ce volume est égal au produit du nombre de points par le nombre de bits et la fréquence des mesures : P x B x F.

P Le nombre de points P est le nombre de mesures effectuées sur le Soleil dans des conditions identiques. Il définit la résolution spatiale obtenue pour chaque image,

B Le nombre de bits B définit la dynamique de comptage pour chaque mesure, donc aussi la sensibilité et la précision,

F La fréquence F est celle à laquelle les différents points du Soleil seront observés à nouveau.

(a) Nombre de bits par mesure.-
La dynamique de comptage est normalement égale à : $N = 2^n$
n étant le nombre de bits par mesure.
L'incertitude relative est donnée par $\frac{\sqrt{N}}{N}$.

Quelques valeurs permettent de juger de ces caractéristiques.

Nombre de bits	Dynamique	Incertitude
n	N	$\sqrt{N}/N$
6	64	12,5%
8	256	6,25%
10	1024	3,125%
13	8192	1,1%

Il est toutefois possible d'augmenter la dynamique d'un mot de n bits par l'utilisation de compteurs à virgule flottante. Bien entendu ceci ne peut être obtenu qu'avec une perte de précision. Ainsi, en acceptant de perdre jusqu'à 7 bits de moindre signification, il est possible d'obtenir la dynamique d'un compteur de 13 bits avec un compteur de 8 bits.

Les caractéristiques sont alors les suivantes :

n	N	$\sqrt{N}/N$	Incertitude ajoutée	Incertitude totale
8	8032	1,1%	3%	∿ 4%

Remarque
Si le système de comptage n'est pas linéaire pour les flux importants, la dynamique peut encore être augmentée d'environ 50%(cf : § III.3.13.6).

(b) Nombre de points par image. Fréquence de prélèvement des images.-
La solution d'un compteur à 8 bits étant choisie, l'expérience dispose d'environ 400 mots par minute. Un certain nombre d'entre eux, doit être réservé à la surveillance de l'expérience et à la connaissance de son mode de fonctionnement.

L'expérience comportant quatre voies de mesure, chacune d'elles se verra affectée, à chaque format, une centaine de mots pour explorer une ou deux fois, tout ou partie du champ de l'expérience.

5.6 Analyse spatiale du champ de l'expérience.

(a) Résolution spatiale choisie.-
Du point de vue purement scientifique, il est souhaitable d'obtenir la meilleure résolution possible. Son choix est le résultat d'un compromis entre les impératifs scientifiques et techniques.

Tout d'abord, le satellite tourne autour de son axe de pointage à la vitesse moyenne de 6° par seconde (1 tour par minute). Il en résulte une rotation égale de l'image solaire formée sur le disque sélecteur. A ce déplacement s'ajoute celui qui est dû à la dérive du pointage et qui peut atteindre 1,5 minute d'arc par seconde de temps. Les images doivent donc être explorées en un temps aussi court que possible, afin qu'elles puissent être considérées comme fixes. La tolérance admissible dépend de la résolution désirée.

Cette condition conduit donc à choisir un nombre de mesures faible et pour chacune d'elles, un temps de comptage court.

La surface des collecteurs, la transmission du système optique et la sensibilité des détecteurs sont connus, ainsi que le flux incident.

Une sensibilité et une précision de mesure raisonnables peuvent être obtenues si le nombre de coups comptés par mesure est supérieur à 200.

Ces conditions sont remplies pour une taille du point élémentaire de l'image voisine de 5 minutes d'arc et une durée de comptage d'une vingtaine de millisecondes.

Compte tenu du temps nécessaire à la rotation du disque sélecteur, ceci autorise une fréquence de prélèvement des mesures d'une trentaine d'Hertz.

Dans ces conditions, l'exploration d'une image en 100 points durerait 3 secondes. Pendant ce temps la dérive du pointage peut atteindre 4,5 minutes d'arc et la rotation de l'image de 18° correspond également à un déplacement de 5 minutes d'arc en son bord. De telles erreurs ne sont pas admissibles.

L'image sera donc composée de 48 points et une 49ème mesure sera effectuée sur l'ensemble du champ, ce cycle se reproduisant deux fois par format. Dans ces conditions, le débit d'information au cours du prélèvement des images est trop élevé pour être directement écoulé sur la télémesure. Il sera donc nécessaire de stocker provisoirement les mesures dans des mémoires, qui seront ensuite interrogées, plus lentement, durant les temps morts séparant les séquences de balayage.

(b) Principe de l'analyse spatiale du champ.-
Les dimensions du champ de l'expérience ont été choisies (cf : § II.5.2) de façon à assurer que le Soleil n'en sorte pas. Mais dans ce champ, la position du Soleil évolue selon l'attitude du satellite et ne peut donc être connue à priori.

Si 48 aires élémentaires de 5 minutes d'arc de côté permettent d'explorer l'ensemble du disque solaire, il faudrait environ 250 éléments de cette dimension pour couvrir le champ, et assurer ainsi le balayage du Soleil où qu'il soit dans ce champ.

Afin de ne perdre ni sur la résolution, ni sur la couverture du champ, la solution qui s'impose est que plusieurs trous soient présents dans le champ, à l'instant de chaque mesure. Ces trous étant suffisamment éloignés pour que l'image solaire ne puisse pas en recouvrir deux simultanément, le seul problème qui subsistera sera alors de pouvoir déterminer lequel a été utilisé, afin de pouvoir reconstituer l'image.

(c) Choix de la structure du disque sélecteur.-
L'image du champ obtenue avec une distance focale de 500 mm a un diamètre de 13,8 mm.

Le disque sélecteur doit être assez grand pour couvrir ce champ et en permettre le balayage complet, mais son diamètre est limité pour des raisons d'encombrement, d'inertie et d'effet gyroscopique. Il sera de 72 mm.

Le disque sélecteur doit balayer simultanément deux images diamétralement opposées ce qui lui impose une structure symétrique par rapport à son centre.

Il comporte autour d'une partie centrale opaque (figure 12) :

.deux grands trous circulaires couvrant le champ de l'expérience et donnant accès à la mesure globale du flux solaire,

.deux zones de balayage, percées de trous trapézoïdaux utilisés pour l'analyse par points du champ,

.des zones de garde opaques entre zones de balayage et zones de mesure globale.

(d) Position des trous.-
Quelle que soit la position du Soleil dans le champ :

.celui-ci doit être entièrement exploré en 48 mesures,

.il ne doit être balayé qu'une seule fois,

.l'image solaire ne doit pas couvrir deux trous simultanément,

.le temps d'acquisition de l'image doit être aussi court que possible,

.un certain nombre de mesures doivent être prélevées en dehors de l'image du Soleil (de telles mesures sont indispensables pour la reconnaissance du changement de ligne de balayage),

.les régions explorées doivent être jointives sans recouvrement,

.les dimensions angulaires des trous doivent être voisines de cinq minutes d'arc.

Ces différentes exigences imposent les grandeurs suivantes :

.la largeur des lignes de balayage est égale au sixième du diamètre de l'image : soit 0,8 mm ,

.la largeur des points doit être voisine de cette hauteur et vue du centre du disque, sous un angle égal au pas de rotation.

Les pas de rotation sont : $\frac{2\pi}{192} = 1° 52' 30"$.

La solution la plus simple consisterait à placer les trous sur des spirales d'Archimède, identiques et déduites les unes des autres, par rotation autour du centre du disque.

La loi de répartition sur les spirales serait alors la suivante :

Deux trous voisins sont décalés radialement d'un interligne, leur distance est égale au diamètre de l'image solaire augmenté de la largeur moyenne des deux points considérés.

Cette disposition de base a été légèrement modifiée pour augmenter son efficacité et sa régularité. Les trous extrêmes sont déduits les uns des autres par une rotation de 90° soit 48 pas de rotation. Il en résulte que, si le balayage débute au centre du Soleil, la première ligne est incomplète mais l'exploration de la partie manquante est assurée à la fin du cycle de mesure.

La disposition choisie donne un quadrillage régulier du champ.

6.- Synoptique (figure 13).

Il est possible de distinguer dans l'expérience Solaire différents ensembles regroupant géographiquement des fonctions de même type.

La partie de l'expérience contenue dans le tube central du satellite comporte :

.une structure mécanique ,
.deux ensembles de détection ,
.le système optique, dans lequel est compris le mécanisme sélecteur et le dispositif de calibration et d'obturation.

La plus grande partie des systèmes électroniques est rassemblée en cinq modules spécialisés, placés sur le plateau supérieur du satellite.

6.1 La structure mécanique (figure 14).

La partie mécanique est principalement constituée de trois viroles et de quatre plateaux formant un tube divisé en trois parties.

La partie inférieure, haute de 140 mm, contient l'expérience Anti-Solaire et supporte l'expérience Solaire.

La partie médiane, haute de 350 mm, contient les réseaux solaires et trois boitiers détecteurs identiques.

L'un d'entre eux appartient à l'expérience Anti-Solaire. Un autre porte le convertisseur haute tension qui alimente la lampe de calibration Solaire.

Le volume restant est destiné au passage des faisceaux lumineux et du cablage.

6.2 Boitiers détecteurs.

Chaque boitier contient, sous une forme compacte, les deux ensembles de détection associés à une cellule à résonance (figure 15).

Ils comprennent donc une cellule, deux photomultiplicateurs et leur système commun d'alimentation en haute tension, ainsi qu'une sonde mesurant la température.

A chaque photomultiplicateur est associé un petit module électronique qui préamplifie, amplifie, discrimine et forme les impulsions.

Ces boitiers sont donc alimentés sous basse tension, ce qui ne pose pas de graves problèmes d'isolement et de bruit, et les signaux de mesure qui en sortent ont un niveau de 3 volts suffisant pour ne pas être sensibles aux bruits.

6.3 Système optique.

Dans la partie supérieure du cylindre, haute de 100 millimètres, se trouvent rassemblés les miroirs coudant les faisceaux lumineux, un baffle optique et le mécanisme sélecteur d'images.

Ce mécanisme (figure 16) est composé d'un carter rigide servant de support aux différents éléments : système motoréducteur d'entraînement, disque sélecteur, mécanismes et microcontacts de contrôle, connecteur. Enfin un miroir de référence et les connecteurs de liaison des deux expériences Solaire et Anti-Solaire au satellite, sont fixés sur le plateau supérieur, à l'abri d'un cache thermique. C'est également dans ce volume que se trouve le sous-ensemble d'obturation et de calibration (figure 17). Il comporte les deux obturateurs et leurs moteurs ainsi que les microcontacts de contrôle et un connecteur. S'y trouvent également la lampe de calibration, un miroir condenseur de renvoi et deux petits miroirs placés sous les obturateurs.

Il faut rappeler que le système de senseurs solaires du satellite est également logé à ce niveau, occupant une partie du volume de la virole supérieure.

6.4 Modules électroniques.

Deux des cinq modules utilisés par l'expérience ont été réalisés sous la responsabilité du Centre National d'Etudes Spatiales. Ils contiennent chacun une mémoire statique à tores magnétiques d'une capacité de 1568 bits.

Ces mémoires sont utilisées comme tampon entre l'expérience qui leur transmet ses mesures au rythme moyen de 1024 bits par seconde pendant l'exploration des images, et le codeur de télémesure du satellite qui n'en accepte que 128 par seconde.

Les trois autres modules remplissent respectivement les fonctions d'alimentation, de programmation et de comptage.

(a) Convertisseur basse tension.-
Le convertisseur basse tension reçoit du satellite la tension dite "bus-line" d'alimentation générale du satellite comprise entre 15 et 24 volts. Son rôle consiste à délivrer aux différentes parties de l'expérience les tensions régulées qui leur sont nécessaires. Ces tensions sont au nombre de 10.

(b) Programmeur.-
Le programmeur élabore, à partir de signaux reçus du satellite, d'autres signaux et ordres qui organisent le fonctionnement logique de l'expérience dans les différentes configurations possibles.

(c) Compteur.-
Le module compteur occupe le volume de deux modules standards. Il reçoit toutes les informations de l'expérience destinées à la télémesure et les met en forme avant de les retransmettre au codeur du satellite.

En particulier, les impulsions provenant des quatre chaînes de mesure y sont reçues simultanément par autant de compteurs à virgule flottante. A la fin d'un temps de mesure, par l'intermédiaire d'un commutateur, les informations contenues dans les quatre compteurs sont retransmises successivement à l'unique registre à décalage de 8 bits qui met en série les 8 digits correspondant à une mesure. Le sélecteur aiguille ensuite les mots ainsi constitués vers l'une ou l'autre des deux mémoires tampons.

7.- Fonctionnement de l'expérience.

7.1 Remarques préliminaires.

L'expérience Solaire ne doit, normalement, fonctionner que pendant la partie éclairée de l'orbite, c'est pourquoi le programmeur jour-nuit du satellite autorise sa mise en marche par un signal "jour" (J) et l'interdit par un signal "nuit" (N).

Par ailleurs un programmeur de calibration détermine automatiquement, pour toutes les expériences en fonctionnement de jour, les séquences de calibration qui durent 3 formats (F) :

de J + 24 F à J + 27 F

de J + 48 F à J + 51 F, etc...

Deux ordres de télécommande permettent par ailleurs la mise en route et l'arrêt de la calibration, à n'importe quel instant (TC 101 et TC 100).

7.2 Télécommande.

Six ordres de télécommande permettent de choisir le mode de fonctionnement de l'expérience compte tenu des remarques précédentes.

En raison de ce petit nombre, chaque ordre a plusieurs fonctions et il peut être nécessaire d'envoyer différents ordres pour obtenir la configuration désirée.

Pour des raisons évidentes de sécurité, l'arrêt général de l'expérience est obtenu sur un seul ordre.

Les ordres de télécommande sont les suivants :

TC 110 .Arrêt général
.Les programmeurs Jour-Nuit et Calibration sont inhibés.

TC 111 .Alimentation du convertisseur basse tension
.Autorisation d'alimenter, sous 6 volts, les cellules à la mise sous tension des détecteurs correspondants (TC 112 - TC 113)
.Autorisation d'alimenter les convertisseurs haute tension (détecteurs et calibration)
.Fonctionnement programmé du disque sélecteur en analyse d'image.

TC 112 .Alimentation du convertisseur haute tension Hydrogène
.Autorisation du programmeur Jour-Nuit.

TC 113 .Idem pour la voie Deutérium.

TC 114 .Blocage du disque sélecteur dans la position de mesure globale.

TC 115 .Alimentation des filaments des cellules sous 5 volts (au lieu de 6 volts).

7.3 Cycles de fonctionnement.

Les deux voies de mesure, Hydrogène et Deutérium, peuvent être mises en fonctionnement indépendamment l'une de l'autre, mais le plus souvent elles travaillent ensemble. Dans ce cas, leur cycle de fonctionnement est identique, à une inversion près des cycles d'alimentation des cellules, destinée à équilibrer au mieux la consommation électrique.

Il existe trois principaux modes de fonctionnement de l'expérience en vol :

.un mode normal, donnant 48 mesures d'exploration du champ et une 49ème mesure intégrée sur l'ensemble du champ,

.un mode disque sélecteur arrêté, qui remplace les 48 mesures d'exploration par autant de mesures intégrées, sans autre modification si ce n'est la disparition de la 49ème mesure,

.un mode de calibration, identique au précédent, si ce n'est que, les obturateurs n'étant pas ouverts et la lampe de calibration étant alimentée, le flux mesuré provient de cette dernière. Le cycle de calibration se termine par 24 mesures de courant d'obscurité des détecteurs, les obturateurs étant toujours fermés mais la lampe de calibration éteinte.

La figure 18 résume le cycle de fonctionnement normal de l'expérience.

Remarque
Dans le but de faciliter les essais avant le tir, d'autres modes de fonctionnement peuvent être utilisés au laboratoire. Ils sont décrits au paragraphe III.3.12.(b).

III.- Définition des principaux éléments. Essais. Calibration

1.- Introduction

2.- Modèles réalisés. Calendrier

3.- Définition et essais des sous-ensembles. Résultats partiels
- 3.1 Diagramme des essais
- 3.2 Miroirs
- 3.3 Réseaux
- 3.4 Disque sélecteur
- 3.5 Motoréducteur
- 3.6 Mécanisme obturateur
- 3.7 Lentilles de champ atténuatrices
- 3.8 Lampe de calibration
- 3.9 Cellules à résonance
- 3.10 Structure de l'expérience
- 3.11 Lumière parasite. Baffles
- 3.12 Modules. Contrôles électriques. Moyens d'essais
- 3.13 Réglage et contrôle des boitiers détecteurs.

4.- Essais pratiqués sur l'expérience complète
- 4.1 Assemblage
- 4.2 Réglage des miroirs de calibration
- 4.3 Essais optiques et électroniques
  - 4.3.1. Matériel utilisé
  - 4.3.2. Essais à l'ambiante
  - 4.3.3. Essais préliminaires sous vide
  - 4.3.4. Bande passante
  - 4.3.5. Essais en vibration
  - 4.3.6. Contrôles après vibration et avant vide-thermique
  - 4.3.7. Vide-thermique
  - 4.3.8. Calibration absolue
  - 4.3.9. Résultats.

5.- Essais du satellite complet

III.- Définition des principaux éléments de l'expérience. Essais. Calibration.

1.- Introduction.

Le but des essais est de contrôler la qualité et les performances des sous-ensembles, séparément, puis de leur ensemble ; de vérifier la compatibilité de l'expérience avec le satellite et d'établir les lois de réponse de l'instrument. C'est-à-dire que trois types d'essais ont lieu successivement : la qualification, la vérification et la calibration.

.La qualification comprend tous les essais permettant d'apprécier l'aptitude au vol d'un système quelconque, avec une durée de vie convenable.

Pour que de tels essais aient un sens, leur sévérité doit au moins égaler les conditions réelles de lancement et de vol. De tels essais, surtout s'ils doivent être répétés à différents stades de l'assemblage, "fatiguent" nécessairement le matériel qui les subit et par conséquent diminuent sa fiabilité pour la mission proprement dite.

C'est pourquoi ces essais sont en général réservés à des modèles qui ne seront pas mis en orbite (modèles de qualification). Ils peuvent alors, éventuellement, aboutir à la destruction de l'échantillon sans conséquences graves.

Après qualification d'un ou plusieurs modèles, il est admis que les modèles de vol, qui en sont les répliques aussi exactes que possible, supporteront sans dommage les mêmes conditions de vol et de stockage. Par mesure de précaution, il est toutefois procédé à des contrôles. Ces essais moins durs que ceux de qualification sont appelés : essais de vérification.

Quant à la calibration, elle consiste à étalonner l'appareil de mesure que constitue l'expérience.

La calibration est faite sur tous les modèles complets de l'expérience y compris les modèles de qualification. Elle permet alors de mettre au point les méthodes de mesure et les procédures, mais aussi de vérifier le plus tôt possible que les caractéristiques calculées théoriquement sont bien obtenues.

2.- Modèles réalisés. Calendrier.

(a) Après la définition technique de l'appareil, un prémodèle de chaque sous-ensemble a été fabriqué (1966).

Une "maquette sur table" de toute la partie électronique a été ainsi montée et essayée. Puis un test de compatibilité avec une maquette électrique

du satellite a été effectué en février 1967.

Une "maquette mécanique" inerte, représentant les masses et les volumes a également été montée sur la maquette mécanique du satellite en mai 1967. Elle a subi des essais de tenue aux vibrations en juillet 1967.

Dans le même temps débutait une étude de lampes à hydrogène de différents types, de cellules à résonance, ainsi que des essais de moteurs, de réducteurs, d'usinage de Béryllium et de gravure de réseaux.

(b) Les résultats obtenus au cours de cette période de définition ont abouti à une nouvelle définition sous la forme d'une "maquette d'identification" (MI). Cette maquette n'est pas équipée d'optiques définitives, mais elle permet des essais optiques d'alignement en lumière visible (septembre 1967).

L'électronique y a été implantée sous forme de modules qui ne seront pourtant pas enrobés de mousse et ne doivent donc pas subir d'essais en vibration ou sous vide. En aucun cas cette maquette ne peut être mise en orbite. Le mois de juillet 1968 a vu son intégration définitive au satellite MI pour tous les essais de compatibilité.

(c) La maquette d'identification ayant permis de résoudre la plupart des problèmes rencontrés, il en résulte la définition et la construction d'une "maquette de qualification" ou "modèle de qualification" (MQ) théoriquement conforme à ce que seront les modèles de vol.

Cette maquette a subi des essais sous vide et une calibration en janvier 1969 ainsi que les essais en vide-thermique et en vibration, aux normes les plus sévères, en février et mars 1970.

Le modèle de qualification du satellite sur lequel elle est finalement montée en mai 1970, subit à nouveau un cycle complet d'essais, analogues à ceux déjà effectués. Cet ensemble sera ensuite utilisé pour le contrôle systématique des équipements au sol avant toute opération sur un modèle de vol, ceci jusque sur le champ de tir.

En cas de nécessité, cette maquette doit pouvoir être mise en orbite et certains de ses éléments peuvent éventuellement servir de rechange.

(d) Enfin, deux "modèles de vol", MV1 et MV2, constituent les modèles les plus fiables qui doivent être mis en orbite. La procédure d'essais appliquée à ces modèles est la même que pour le modèle de qualification avec des normes moins sévères.

Le modèle de vol n° 1 a été monté sur le satellite de même nom en décembre 1970.

Après toutes les vérifications prévues, sa mise en orbite s'est effectuée normalement le 15 avril 1971.

Le modèle de vol n° 2 était également présent sur le champ de tir, en rechange.

Le remplacement de l'expérience Anti-Solaire par une expérience destinée à la mesure de l'émission Lyman-Béta a ensuite été mis à profit pour introduire dans l'expérience Solaire MV2, une cellule à absorption remplie d'hydrogène. Cette modification avait pour but d'obtenir un flux de résonance en deutérium exempt de tout signal dû à l'hydrogène, par absorption du centre de la raie Lyman-Alpha solaire (cf : Présence d'hydrogène résiduel dans les cellules à deutérium § III.3.9.4.).

Le modèle de vol n° 2 a été recalibré et intégré au satellite D2-A Polaire durant l'été 1971. Le lancement de ce satellite le 5 décembre 1971 ne s'est malheureusement pas terminé par sa mise en orbite en raison du mauvais fonctionnement du deuxième étage du Diamant DM B4.

La calibration et les essais qui vont être décrits ont été effectués sur les trois derniers modèles réalisés : MQ, MV1 et MV2 et parfois même sur les maquettes les précédant.

3.- Définition et essais des sous-ensembles. Résultats partiels.

3.1 Diagramme des essais effectués sur les sous-ensembles (figure 19).

3.2 Les miroirs.

L'expérience solaire comporte huit miroirs (cf : § II.5.4.).

Tous sont réalisés en titane, métal directement polissable d'une bonne tenue mécanique.

Les miroirs de calibration sont réglés au moment de l'assemblage général (cf : § III.4.2.), les tolérances exigées pour leur fabrication sont donc relativement larges. Il n'en est pas de même des autres miroirs qui sont l'objet de contrôles sévères.

Après usinage, leurs dimensions sont contrôlées, puis les deux faces des miroirs sont polies. L'angle de ces faces est alors mesurable optiquement à 15 secondes d'arc près. La planéité est contrôlée par une méthode interférentielle.

Si les miroirs sont acceptés, ils reçoivent, sous vide, un dépôt d'aluminium et de fluorure de magnésium. Enfin leur pouvoir de réflexion à la longueur d'onde de Lyman-Alpha est mesuré.

La comparaison entre le flux incident et le flux qu'ils réfléchissent se fait sous vide, selon le schéma de la figure 20, sans ouverture de la cuve, grâce à un double mouvement tournant permettant d'éclipser le miroir échantillon et de déplacer le photomultiplicateur de mesure.

Résultats. Facteur de réflexion des miroirs MV1.

Nom du miroir.	MD1	MD2	MH1	MH2
Facteur de réflexion à Lyman-Alpha.	82%	85%	84%	84%

Le facteur de réflexion obtenu sur chaque voie de mesure (comportant deux miroirs) est donc voisin de 70%.

3.3 Les réseaux.

Les deux réseaux de l'expérience Solaire ont respectivement pour dimensions utiles :

Hydrogène : 29 x 49 mm

Deutérium : 18 x 20 mm

Ils sont utilisés sous une incidence voisine de la normale, dans l'ordre : - 1. L'angle de blaze est voisin de 4°.

Le support des réseaux est en béryllium recouvert de 100 microns de nickel catalytique (Kanigen).

Après contrôle de leurs dimensions, ils sont polis au rayon de courbure de un mètre, et contrôlés optiquement comme des miroirs.

Ils reçoivent alors, sous vide, un dépôt d'aluminium qui sera gravé au diamant, à 1220 traits par millimètre. Le réseau hydrogène comporte trois zones et le réseau deutérium est réalisé en deux zones.

Le réglage du diamant est vérifié grâce à des essais de gravure effectués sur support de verre aluminisé, contrôlés optiquement sous vide, comme le sont les réseaux définitifs.

Le montage de mesure utilisé est le même que celui qui a été décrit pour les miroirs (cf : § III.3.2. figure 20).

Le critère d'acceptation est le rapport du flux diffracté dans les différents ordres, pour différentes longueurs d'onde. La surface des réseaux est enfin traitée comme celle des miroirs et l'efficacité de chaque zone est mesurée dans les différents ordres et pour différentes longueurs d'onde.

Exemple des résultats obtenus.

Réseau hydrogène MV1. Zone n° 1.

λ °A	1216	1255	1354	1420	1465	1527
Ordre 0	8,9%	11%	15%	17%	19%	23%
Ordre - 1	43 %	45%	40%	38%	38%	35%

3.4 Le disque sélecteur.

La qualité de l'analyse, point par point, des images solaires dépendra pour beaucoup de celle des perçages du disque sélecteur.

Les trous sont définis en coordonnées polaires par deux rayons et deux angles, avec la précision demandée de 15 microns sur les rayons et 30 secondes sur les angles.

Le disque sélecteur a été réalisé de la façon suivante :
Les deux faces d'une feuille mince (50 microns) de cuivre au béryllium, recouvertes d'un vernis photosensible sont impressionnées en projetant l'image réduite d'un dessin effectué à grande échelle puis elles sont attaquées chimiquement.

La qualité obtenue dépend de la nature du matériau employé, de la précision avec laquelle les deux images projetées sont alignées l'une par rapport à l'autre, et du temps que dure l'action du bain solvant.

Les disques ont été contrôlés par différentes méthodes. Un premier examen visuel permet de juger de la qualité générale, de la propreté et de l'état de surface de la feuille.

.les dimensions des trous, la qualité de leurs bords et le rayon de courbure dans les angles sont mesurés au microscope et par macro-photographie.

.la position relative des trous et leurs dimensions sont mesurées à l'aide d'un projecteur de profil.

Enfin, la photographie en lumière visible (figure 21) du disque en rotation donne une idée précise de la qualité du balayage obtenu.

Résultats obtenus.

Après quelques essais, les disques obtenus se sont avérés de très bonne qualité, malgré un rayon de courbure résiduel d'environ 30 microns aux coins des trous. La surface obturée par ce défaut n'atteint pas, en général deux millièmes de la surface du trou.

3.5 Sous-ensemble sélecteur d'images.

Le disque sélecteur qui vient d'être décrit est trop mince pour être monté directement sur son système d'entraînement. Il est donc pris en sandwich entre deux plaques d'aluminium percées de trous suffisants pour ne pas provoquer de diaphragmations autres que celles du disque proprement dit.

Ces trois éléments sont assemblés par rivetage et montés sur un manchon solidaire du système d'entraînement assurant la bonne perpendicularité du disque à son axe de rotation.

Les essais qu'a subi ce sous-ensemble sont ceux qui vont être décrits pour le motoréducteur.

Il s'y ajoute : un réglage précis de la position de déclenchement des microcontacts et la vérification de ce réglage après chaque essais.

Motoréducteur d'entraînement du disque sélecteur.

Les caractéristiques qui lui sont demandées sont les suivantes :

.poids et volume restreints,

.diamètre extérieur inférieur à 35 millimètres,

.faible consommation,

.effectuer des pas de 1°52'30" ± 2,5' à la fréquence de 32 Hz,

.le temps de rotation ne doit pas dépasser 7,8 millisecondes par pas de façon à ce que le disque soit immobile pendant le prélèvement des mesures.

Ce mécanisme ne doit pas être lubrifié par des corps gras et volatils. Il devra fonctionner dans les conditions de l'environnement spatial pendant au moins six mois.

Il serait beaucoup trop long d'entrer dans l'exposé détaillé des procédures et essais qui ont permis la qualification d'un système original remplissant les conditions imposées. (J. Charra, 1967 ; P. Bouyries, J. Charra, 1969).

A partir d'un motoréducteur classique, six prémodèles ont été construits avant que soit acquise la procédure de fabrication définitive des modèles de vol.

Le moteur définitif est du type à aimant permanent, tournant par pas de 90°. Son diamètre extérieur est de 19 millimètres.

Les principales améliorations apportées à ce moteur ont été : l'adoption de roulements secs autolubrifiants et l'élimination des corps étrangers (nettoyage par ultrasons, dorure du rotor, enrobage du stator, aimantation en sac étanche...).

En ce qui concerne le réducteur, d'un diamètre de 27 millimètres (rapport de réduction : 48) la principale nouveauté a été l'utilisation d'un matériau à structure hexagonale, le Virium 25, pour l'ensemble des pignons. Un effort considérable a également été fait dans le domaine de la précision d'usinage des dents de module 0,25 dans ce matériau.

Après de nombreux contrôles à tous les stades de la fabrication et du montage, la qualification de ces ensembles a comporté un nombre très important d'essais et de mesures.

Les essais en vibration du sous-ensemble sélecteur d'images ont été effectuées aux niveaux relevés à son emplacement sur la maquette d'identification. A certaines fréquences le niveau d'excitation atteint 50 g.

Plusieurs essais de fonctionnement en ultra-vide ont été faits pendant des durées équivalentes à 3 ans de vie en orbite (70 millions de pas en 700 heures à 10^{-9} torr).

Ces essais ont été complétés par des tests en vide thermique pour des températures comprises entre - 30 et + 80°C et par des mesures de dégazage.

Chacun de ces essais a été précédé et suivi par le contrôle de nombreux paramètres afin d'en mesurer les effets.

Résultats.

Exemple de valeurs relevées sur le modèle MQ équipé de son disque et alimenté par des impulsions de 13 volts durant 15,6 millisecondes :

.impédance par phase : 180 ohms

.consommation moyenne : 0,6 watt

.écart moyen de positionnement 1 minute d'arc

.fréquence limite : 40 Hz

.temps de latence au démarrage : 5,4 ms

.temps pour effectuer 1 pas : 7,6 ms

.couple résistant du réducteur seul statique : 1 g.cm
dynamique : 0,5 g.cm

3.6 Système d'entraînement des obturateurs.

Le rôle des mécanismes d'entraînement des obturateurs est de faire tourner ceux-ci de 90° et de les maintenir dans ces deux positions sans que cette dernière nécessité n'entraîne de consommation électrique.

Ces propriétés peuvent être obtenues à partir d'un moteur identique à celui qui entraîne le disque sélecteur moyennant deux modifications.

La première consiste à renforcer, dans deux positions à 180°, le blocage magnétique naturel du moteur, par une rectification elliptique du stator.

La deuxième est obtenue par l'introduction de deux butées mécaniques, éloignées de 90° et équidistantes du point d'équilibre instable situé sur le grand axe de l'ellipse. Les deux positions d'équilibre stable du rotor sont ainsi déplacées de 45° chacune.

Un tel système a reçu aux Etats-Unis le nom d'actuator. Les difficultés qui s'ajoutent à celles de la réalisation d'un moteur pas-à-pas proviennent de la nécessité d'obtenir un juste compromis entre le couple de blocage, en l'absence de courant, et l'énergie électrique nécessaire pour faire passer le rotor et l'obturateur d'une position d'équilibre à l'autre. Ceci nécessite, en particulier, un très bon équilibrage des obturateurs.

Dans le cas de l'expérience Solaire, les obturateurs qui sont illuminés pendant toute la phase ensoleillée du satellite reçoivent une peinture

blanche augmentant leur pouvoir de réflexion. Leur mouvement est contrôlé par un microcontact.

L'équilibrage définitif ne peut donc intervenir qu'après les opérations de peinture et un réglage fin de la position des microcontacts.

Comme dans le cas du système sélecteur d'images, le sous-ensemble obturateur est qualifié en vibration selon les niveaux relevés à son emplacement au cours des essais effectués sur la maquette d'identification.

3.7 Lentilles de champ atténuatrices.

Une évaluation de l'atténuation nécessaire peut être obtenue à partir des valeurs du flux incident et des caractéristiques optiques de l'expérience.

La valeur exacte de cette atténuation n'est connue que très tard, lors de la calibration absolue de l'expérience. Il a donc été décidé de fabriquer un jeu de lentilles, dont les densités seraient échelonnées de part et d'autre des valeurs calculées. Ainsi le moment venu, il est possible de choisir, entre elles, celles qui conviennent le mieux.

Une trentaine de lentilles et lames témoins ont été taillées dans des cristaux de fluorure de lithium, fluorure de magnésium et fluorure de calcium. Leur transmission à la longueur d'onde de Lyman-Alpha a été mesurée dans une cuve à vide, au moyen d'un montage très simple (figure 22).

Un disque porte-échantillons, percé de 8 trous, peut être mis en rotation sans ouverture de la cuve. Il permet l'étude de 7 échantillons, le huitième trou étant réservé à la mesure du flux incident. Les valeurs ainsi trouvées étant comprises entre 4% et 40%, les lentilles ont été réparties en cinq groupes. Chaque groupe a ensuite été traité sous vide indépendamment, afin d'augmenter la densité jusqu'à la valeur désirée.

La transmission finale qui doit alors être contrôlée est de l'ordre de 10^{-4}. La comparaison de flux qui sont dans de tels rapports ne peut se faire avec la même précision qu'avant le traitement.

La transmission des lentilles a donc également été comparée à celle d'une grille neutre constituée par une feuille métallique percée de trous de 0,04 millimètres distants de 1,11 millimètre. La loi de transmission de cette grille en fonction de la longueur d'onde a, par ailleurs, été établie à l'aide d'un spectromètre CARY (dans le domaine de longueur d'onde de 25.000 Å à 2000 Å) et du montage sous vide de 2000 à 1200 Å.

3.8 Lampes de calibration.

Les lampes de calibration embarquées sont des lampes à décharge étudiées, fabriquées et remplies au laboratoire (figure 23).

3.8.1. Etudes préliminaires.

(a) Flux émis. Spectre d'émission.-
La courbe A de la figure 24 donne le flux émis par une lampe à décharge en fonction de sa pression de remplissage, pour un courant d'alimentation

constant. Elle permet de constater que le flux obtenu est maximal pour une pression de 0,75 Torr. Si la pression augmente il se produit une absorption de plus en plus importante entre la zone émissive de la décharge et la fenêtre de sortie. Il en est de même si le débit est accru, la raie Lyman-Alpha émise est renversée.

(b) Tension d'amorçage. Tension de fonctionnement.-
La courbe B de la figure 24 représente la tension nécessaire à l'amorçage d'une décharge en fonction de la pression de remplissage. Cette courbe présente un minimum, voisin de 400 volts pour une distance de 15 millimètres entre les électrodes ; il lui correspond une pression de 2,5 torrs.

La tension de fonctionnement est en général inférieure à la tension d'amorçage d'une centaine de volts.

(c) Stabilité.-
La courbe C résume les différents types d'évolution qui se produisent selon le mode d'utilisation de la lampe.

1) Fonctionnement fréquent.
La première partie de la courbe montre une certaine instabilité qui disparait après quelques heures de fonctionnement. Puis la tension d'amorçage baisse, passe par un minimum, et se met enfin à croître très rapidement. La décharge devient instable et disparaît. En reportant ces indications sur la courbe B, ceci s'interprète par une baisse de la pression dans la lampe en raison du piégeage des atomes dans les parois, associée à un pompage dû à la pulvérisation cathodique.

2) Repos après le fonctionnement.
Lorsque le fonctionnement de la lampe est interrompu, (deuxième partie de la courbe C), la tension d'amorçage décroît et après quelques jours de repos, la pression redevient voisine de celle de remplissage.

3) Fonctionnement peu fréquent et stockage.
La troisième partie de la courbe C représente le vieillissement d'une lampe utilisée de façon peu fréquente et pendant des durées de quelques minutes. L'évolution générale est la même que pour un fonctionnement intensif mais il faut alors 6000 heures, plus de 8 mois, pour atteindre l'état auquel conduisent 60 heures de cyclage rapide, à la différence que la baisse de pression à long terme est irréversible.

(d) Conclusion.-
La pression de remplissage a été choisie voisine de 5 torrs. Ceci assure une bonne stabilité de la lampe et une tension d'alimentation modérée, mais l'intensité émise est diminuée d'un facteur trois par rapport à celle que donnerait la pression optimale de 0,75 torr.

Le système d'alimentation de la lampe comporte une limitation en courant à 0,1 mA, ce qui représente le double avantage d'éviter que la raie émise soit renversée et de ralentir le vieillissement.

Le choix d'une lampe d'assez fort diamètre (24 mm) contribue à augmenter la durée de vie sans modifier le profil de l'émission en accroissant la réserve de gaz.

3.8.2. Contrôles et essais.

La transmission des fenêtres est mesurée sous vide avant leur scellement au chlorure d'argent sur une coupelle d'argent. Les lampes sont ensuite remplies d'hydrogène en suivant des cycles d'étuvage et de dégazage propres à assurer la pureté du gaz.

Le flux émis est mesuré dans l'air au moyen d'un compteur à ionisation placé contre la fenêtre tandis que sont évaluées les tensions d'amorçage et de fonctionnement. Lorsque la lampe a été fermée, son spectre d'émission est tracé grâce au spectromètre sous vide Mac Pherson de 3 mètres de focale du laboratoire. Il est ensuite effectué une mesure du flux Lyman-Alpha utile à la résonance par l'intermédiaire d'une cuve à résonance. La lampe choisie est reliée au convertisseur haute tension, limité en courant qui lui a été adapté. Puis elle est enrobée de Silastène dans son support mécanique. Après nettoyage de la fenêtre, la lampe subit enfin un nouveau cycle de mesures optiques.

Ce type de lampe, dit OSO V, a déjà été embarqué avec succès sur différentes expériences spatiales. Des essais successifs en vibration, aux niveaux respectifs de 40 et 70 g, ont permis de vérifier sa résistance et de qualifier son mode de fixation.

Remarque.

Le gaz de remplissage de ces lampes peut être choisi selon l'utilisation qu'il est prévu d'en faire. C'est ainsi que, moyennant certaines précautions supplémentaires destinées à en éliminer l'hydrogène, des lampes à deutérium ont été fabriquées pour la calibration des cellules à deutérium.

3.9 Cellules à résonance.

Le principe des cellules à résonance a été exposé au chapitre II.5.3.

La réalisation de cellules embarquables a été développée au laboratoire à l'occasion du projet D2-A.

3.9.1. Etudes préliminaires.

(a) Choix des filaments.-
Les filaments sont en tungstène et doivent être choisis en fonction de deux critères :

.leur bonne tenue aux vibrations et au chauffage,

.leur capacité à dissocier les molécules gazeuses lorsqu'ils sont chauffés.

Les essais préliminaires ont malheureusement fait apparaître une certaine incompatibilité entre ces deux conditions. En effet, lorsque la surface d'un filament est bien régulière (type américain) il est généralement solide mais peu efficace, alors que l'inverse se produit si la surface est plus découpée (type français). Un compromis a été trouvé en abaissant la tension d'alimentation des filaments français choisis et en répartissant leur fixation, et leur alimentation en cinq points.

Une vingtaine de filaments placés dans des ampoules remplies d'hydrogène ont été cyclés selon le régime d'alimentation des expériences pendant deux cents jours. La température et la résistance de chacun d'entre eux ont été mesurées périodiquement pour différentes tensions d'alimentation.

Il en a résulté l'adoption de critères de choix des filaments, le

Le temps d'établissement d'un régime stable a également été mesuré. Sous 6 volts, il est un peu supérieur à 100 millisecondes. Enfin, il a été observé, dans de nombreux cas, que les filaments présentaient initialement un point de plus forte résistance se caractérisant par un échauffement local anormal. Un cyclage approprié, à des tensions de plus en plus élevées, permet de résorber ce point dans la plupart des cas.

(b) Etanchéité.-
La difficulté rencontrée dans l'obtention de scellements étanches, due à la différence de coefficient de dilatation du verre et des fenêtre en fluorure de lithium, est surmontée par l'emploi de coupelles d'argent faisant office de joint de dilatation. Dans un premier temps les coupelles sont scellées sur la verrerie recuite, rodée, munie de ses filaments et platinisée ; puis les fenêtres sont scellées au chlorure d'argent par chauffage haute fréquence de la coupelle.

(c) Vieillissement.-
Des cellules de géométries différentes et équipées de nombreux filaments ont été essayées et cyclées pendant de longues durées.

Ces essais font apparaître, d'une part, que le nuage d'atomes créé est relativement localisé, à proximité des filaments, et d'autre part, une perte d'efficacité des cellules dans le temps, due au piégeage des atomes d'hydrogène par les parois en verre et plus encore par le chlorure d'argent, selon la réaction :

$$Cl\,Ag + H \rightarrow H\,Cl + Ag$$

3.9.2. Cellules à hydrogène (figure 25).

Les essais précédents ont permis de définir la géométrie de la cellule de façon :

.à éloigner le nuage d'atomes des scellements,

.à rendre les filaments invisibles des fenêtres de sortie,

.à diminuer les réflexions parasites en direction du bras de résonance.

La procédure de remplissage des cellules mise au point par Serge Cazes comprend, après le dépôt de téflon sur les parois intérieures, la passivation du chlorure d'argent et l'élimination de l'acide chlorhydrique produit. La pression du remplissage définitif est de 0,8 torr de H_2.

3.9.3. Calibration d'une cellule à résonance remplie d'hydrogène.

(a) Cellule considérée comme un filtre à bande passante étroite.-
Avec un monochromateur, il est possible d'isoler la raie Lyman-Alpha d'une lampe à décharge et de l'envoyer dans une cellule à résonance.

La mesure du flux incident et du flux résonnant donne une transmission du "filtre" de l'ordre de 10^{-3}. Ce flux est sous-estimé du fait que la raie utilisée est trop large. Une partie seulement du flux incident est capable d'exciter la résonance.

Un autre moyen de mesurer cette transmission utilise la double résonance. La figure 26 schématise le montage utilisé. La raie excitatrice provient d'une première résonance, elle a donc une largeur égale à celle de la cellule filtre. Dans ces conditions, la transmission est réellement égale au rapport du flux résonnant sur le flux incident. Il faut noter que l'intensité du signal incident est très faible ; cette méthode est d'une mise en oeuvre délicate.

Les transmissions ainsi mesurées sont en général comprises entre 3 et $7\ 10^{-3}$, selon les cellules.

(b) Mesure de l'épaisseur optique d'une cellule à absorption.- Soit F_1 le flux traversant une cellule à absorption quand les filaments sont éteints, et F_2 le flux lorsque les filaments sont allumés, (lumière parasite due aux filaments déduite).

Le rapport $R_e = F_2/F_1$ est appelé rapport de réduction. Ce rapport dépend de l'épaisseur optique τ dans la cellule, de la géométrie de la cellule $A(\tau,\lambda)$ et du profil de la raie incidente $I(\lambda)$:

$$R_e(\tau) = \int_0^\infty A(\tau,\lambda)\ I(\lambda)\ d\lambda$$

avec $$A(\tau,\lambda) = \exp\left[-\tau \exp -\left(\frac{\lambda - \lambda_o}{\Delta\lambda_D}\right)^2\right]$$

$$\lambda_o = 1215{,}664\ \text{Å}$$

et $$\Delta\lambda_D = \lambda_o/C\ (2\ KT/M)^{1/2} \sim 0{,}9\ 10^{-2}\ \text{Å}$$

pour $T = 300°K$

ceci à condition que la raie de résonance de la cuve ait une forme Doppler, c'est-à-dire que l'épaisseur optique de la cuve soit faible.

Il est donc possible de calculer la valeur de $R_e(\tau)$ pour un profil de raie incidente donné, par exemple le profil d'émission Doppler à une température T_e .

La figure 27 représente le réseau de courbes de facteur de réduction, obtenu en fonction de l'épaisseur optique de la cuve et de la température d'émission Doppler de la source. Connaissant ces courbes, la détermination de l'épaisseur optique d'une cellule à absorption revient à mesurer la valeur du facteur de réduction, à condition que la raie incidente ait une forme Doppler.

Or pour cela il suffit d'utiliser comme source le flux issu du bras de résonance d'une cuve. En effet, la distribution des vitesses des atomes étant maxwellienne, les distributions selon deux axes perpendiculaires sont indépendantes et le profil de la raie réémise à 90° du faisceau incident est de type Doppler quel que soit le profil de la raie excitatrice (figure 26).

Remarque.

Si pour une épaisseur optique constante de la cellule à absorption, celle de la cellule source est modifiée, il apparait une variation du facteur de réduction mesuré.

Il en résulte que la forme de raie émise par la cellule à résonance a varié et que le profil n'est réellement Doppler que pour une cellule théorique d'épaisseur optique nulle.

Cette méthode permet donc une mesure approchée d'épaisseurs optiques moyennes jusqu'à $\tau = 10$ environ. Lorsque l'absorption est trop forte le facteur de réduction devient trop faible pour être mesuré avec précision. Etant donné la forme des courbes de facteur de réduction, l'erreur sur l'épaisseur optique est alors très importante.

(c) Signal de résonance maximal.-
Le nuage d'atomes d'hydrogène produit par les filaments n'est pas limité au volume observable depuis la fenêtre latérale. Il en résulte que le flux incident est déjà partiellement absorbé dans la branche d'entrée de la cellule lorsqu'il atteint ce volume observable et que, d'autre part, le flux de résonance diffusé est lui-même atténué avant d'atteindre la fenêtre de sortie latérale.

Lorsque le nombre d'atomes croît dans la cellule, le signal de résonance optique commence donc par augmenter, passe par un maximum puis diminue.

En mesurant ce signal de résonance et, simultanément l'épaisseur optique comprise entre la fenêtre d'entrée et la fenêtre d'absorption, une courbe du type de celle représentée par la figure 28 peut être tracée.

Cette courbe présente un maximum pour l'épaisseur optique τ_M qui dépend du profil de la raie incidente et de la géométrie de la cellule. Pourtant quel que soit le vieillissement de la cellule, pour un profil de raie donné, l'épaisseur optique τ_M pour laquelle le flux résonnant maximum est observé, est fixe. Par conséquent τ_M ayant été déterminé un jour si une courbe de ce type peut être reconstituée en orbite, par l'utilisation d'une lampe de calibration et différents états filaments de la cellule, il est certain que l'état pour lequel le signal observé est maximal correspondra toujours à une épaisseur optique τ_M de la cuve considérée.

3.9.4. Cellule à deutérium .

La géométrie d'une cellule à deutérium est exactement la même que celle d'une cellule à hydrogène.

La différence fondamentale provient de ce que dans le cas du deutérium, il faut éliminer l'hydrogène contenu dans la cellule et piégé dans ses parois.

La procédure de remplissage mise au point par Alfred Vidal-Madjar, utilise une installation réservée à cet usage et dont toutes les canalisations sont saturées de deutérium. Cette procédure comporte une succession d'étuvages sous vide, de vidages et de remplissages en gaz pur. Les hautes températures utilisées, 300 à 400°C, interdisent ici l'utilisation du téflon pour tapisser les parois de la cuve. Une lampe témoin en communication avec le reste du banc de remplissage, contient les mêmes gaz

que celui-ci. Elle permet de contrôler, à tout instant, la proportion d'hydrogène présent dans le deutérium, grâce à un spectromètre à haute résolution qui isole leurs émissions Lyman-Alpha (figure 29).

La proportion d'hydrogène résiduel peut être abaissée à quelques pour-cent. Elle est stable après le scellement de la cuve. Au cours d'une séquence de mesure en vol, la cellule à deutérium donnera donc un signal résonnant :

$$F(\tau,\lambda) = R_H(\tau,\lambda) \times I_H(\lambda) + R_D(\tau,\lambda) \times I_D(\lambda)$$

avec R_H = rendement de résonance de l'hydrogène résiduel

et R_D = rendement de résonance du deutérium présent dans la cellule

I_H = intensité de la raie solaire à la longueur d'onde de résonance de l'hydrogène et

I_D = intensité de cette même raie à la longueur d'onde de résonance du deutérium.

Par ailleurs, la cellule à hydrogène de l'expérience permet dans le même temps la mesure d'un flux résonnant :

$$F'(\tau,\lambda) = R'(\tau,\lambda) \times I_H(\lambda)$$

Il suffit donc de connaître, d'une part, le rapport R'/R_H et, d'autre part, R_D pour connaître le flux I_D dans l'aile de la raie Lyman-Alpha :

$$I_D = 1/R_D(F - F'.R_H/R')$$

.Mesure de R_H/R'.

Pour mesurer ce rapport au laboratoire, il suffit d'éclairer successivement les deux cellules de l'expérience avec la même lampe à hydrogène.

Le deutérium ne peut être excité et le rapport des flux résonnants mesurés, F_A et F_B, est égal au rapport recherché à condition que l'émission incidente i_H n'ait pas varié.

$$F_A = R_H.i_H$$
$$F_B = R'.i_H \qquad R_H/R' = F_A/F_B$$

.Mesure de R_D .

Pour mesurer ce rendement, il faut utiliser une lampe à deutérium qui, bien entendu, contiendra une certaine proportion d'hydrogène et émettra donc un flux utile composé de deux parties :

$$I = f_H + f_D$$

En éclairant les deux cellules avec une telle lampe, il est donc mesuré deux flux résonnants :

$$F_C = R_H.f_H + R_D.f_D$$

$$F_E = R'.f_H$$

Compte tenu des mesures précédentes, il en résulte que :

$$R_D.f_D = F_C - F_E.F_A/F_B$$

Les flux incidents i_H et $I = f_H + f_D$ sont par ailleurs mesurables.

Il en résulte que :

$$R' = \frac{F_B}{i_H} \quad \text{et} \quad f_H = \frac{F_E}{R'} = \frac{F_E}{F_B} i_H$$

donc $$f_D = I - f_H = I - F_E.i_H/F_B$$

et finalement

$$R_D = (F_C.F_B - F_E.F_A)/(F_B.I - F_E.i_H)$$

Tous ces paramètres ayant été déterminés au sol, il est souhaitable de contrôler leur valeur en vol, afin de pouvoir effectuer les corrections voulues si des vieillissements intervenaient, soit sur le rendement des cellules, soit sur la transmission des optiques. Pour des raisons techniques, il n'est pas question que l'expérience comporte un système de deux lampes permutables. Les faisceaux lumineux devant par ailleurs suivre le cheminement optique normal des faisceaux solaires, il faudrait disposer de sources capables de simuler le flux solaire ce qui n'est malheureusement pas le cas. Dans ces conditions, il ne faut donc pas attendre de l'unique lampe de calibration embarquée les corrections voulues. Elle a toutefois joué un rôle important au cours des essais de qualification et de vérification de l'expérience.

Remarque.

Nous avons vu que l'expérience Solaire MV2 placée à bord du satellite D2-A Polaire comportait, sur le passage du faisceau optique deutérium, une cuve à absorption remplie d'hydrogène qui devait permettre de s'affranchir de l'impureté du deutérium.

3.10 Structure de l'expérience.

La plus grande partie de la structure est constituée d'aluminium et de magnésium. Différents types de matières plastiques y sont également utilisés.

Pour des raisons d'encombrement et de poids, les pièces sont relativement peu nombreuses, mais complexes et la précision est très élevée.

Ces conditions imposent de grandes précautions au cours de la fabrication (contrôle radiologique et par ultrasons des ébauches, stabilisation thermique) lors des traitements de protection et des démontages et remontages qui doivent être peu nombreux et s'effectuer dans des conditions de propreté très strictes.

3.11 Lumière parasite. Système de bafflage.

L'expérience comporte un certain nombre de baffles optiques naturels, à la condition que leurs dimensions soient correctement choisies. Ce sont les trous percés dans le cache thermique supérieur et la structure, les miroirs, le disque sélecteur et son carter, les fenêtres des cellules et des détecteurs.

Il a toutefois été jugé prudent d'ajouter un petit baffle à trois lames sous le plateau supérieur. Celui-ci empêche la lumière solaire de tomber directement sur le disque sélecteur, au cas où l'expérience serait mise en fonctionnement en dépit d'un dépointage anormal du satellite.

Une maquette optique, munie de miroirs équivalents aux réseaux, et montée sur une table tournante graduée en angles, a permis de vérifier en lumière visible le bon alignement et les dimensions des baffles et pièces optiques établis par le calcul. Les différents modèles construits ont été vérifiés de la même façon.

Lors de ces essais en lumière visible, les angles entre les axes optiques et mécaniques de l'expérience ont également été mesurés (figure 30). Pour ces différentes mesures l'expérience est posée verticalement sur un miroir cuvette de grandes dimensions et les centres des champs sont repérés, au niveau du disque sélecteur, au moyen de très petits trous (0,15 mm).

3.12 Modules électroniques. Contrôles électriques.

Les grands principes électroniques des différentes expériences embarquées sur le satellite D2-A ont été conçus par une même équipe. De même que les procédures de contrôle électrique, ils diffèrent peu d'une expérience à l'autre.

Les sous-ensembles subissent séparément des essais de recette. Après quelques réglages, adaptations et étalonnages, il est procédé à un essai d'ensemble, comprenant les mécanismes, à différentes températures comprises entre - 10 et + 60°C. Les caractéristiques électriques sont alors relevées.

Moyens d'essais électriques .

Au cours de ces essais et de ceux qui suivent, il est nécessaire de simuler d'une part, l'alimentation et les signaux que le satellite envoit à l'expérience et d'autre part, de visualiser les données que l'expérience transmet normalement au satellite.

Différents matériels dits "d'équipement au sol" sont utilisés à cet effet.

(a) Simulateurs.-
Le simulateur est un ensemble d'alimentation et de commande des cinq expériences placées à bord du satellite. En ce qui concerne l'expérience Solaire le simulateur fournit :

.tous les signaux d'horloge nécessaires,

.une tension continue ajustable (bus line) associée à des sorties permettant de mesurer la consommation de l'expérience.

.une synchronisation possible des convertisseurs basse tension.
Des boutons poussoirs permettent d'envoyer les six ordres de télécommande.

Une commande spéciale permet de diminuer les temps morts de 56 secondes qui séparent les séquences de mesure. Il est également possible de geler, dans un état quelconque, la logique de fonctionnement de l'expérience.

(b) Panneau de sortie.-
Le panneau de sortie est une baie de visualisation. Il comporte cinq séries de 8 voyants lumineux donnant les états des bits de mesure et de surveillance de l'expérience. Quatre convertisseurs digital-analogue permettent de visualiser le signal obtenu sur les quatre voies de mesure sous une forme plus facilement interprétable que les bits codés des compteurs à virgule flottante, mais avec une moindre précision. En dehors du fonctionnement normal, automatique, différents autres modes, commodes pour les essais au sol, peuvent être choisis à partir du panneau de sortie. Ainsi le disque sélecteur peut être mis en rotation continue ou être actionné manuellement pas par pas.

L'ouverture et la fermeture de chaque obturateur et la calibration interne sont aussi commandées de façon manuelle.

Différents points de test de l'expérience sont également reliés à cette baie au cours des essais au sol. Ils permettent le contrôle de différentes tensions et celui des températures.

(c) Enregistreur magnétique.-
La fréquence normale de prélèvement des mesures (32 Hz) est trop élevée pour permettre une visualisation commode par voyants lumineux ou imprimante. En l'absence des mémoires magnétiques tampons, cet appareil permet d'enregistrer les mesures fournies par l'expérience sur bande magnétique, puis de les relire à une vitesse moins rapide.

(d) Chaînes de mesure en parallèle - C.R.C. -
En raison de l'impossibilité d'obtenir, au sol, un flux Lyman-Alpha équivalent au flux solaire, des mesures précises ne peuvent être faites qu'avec des temps de comptage bien supérieurs à ceux prévus pour le vol.

Quatre chaînes de mesure permettent de recevoir le signal amplifié issu des boitiers détecteurs, avec des durées de mesures qui peuvent être choisies dans une gamme de valeurs importante. Les mesures sont soit initialisées manuellement, soit enchaînées automatiquement.

(e) Imprimante.-
Une imprimante sur papier ADDO X peut être associée à ces chaînes de mesure ou à l'enregistreur magnétique. Elle offre la possibilité de totaliser les 48 mesures de chaque séquence automatique.

(f) Enregistreurs analogiques.-
Plusieurs enregistreurs analogiques sont disponibles afin de garder une trace des différents signaux, tels que mesures, consommation, tensions, températures, etc... Ces appareils sont d'une particulière utilité au cours des essais de longue durée.

3.13 Réglage et contrôle des boitiers détecteurs.

Lorsque les éléments constituant les boitiers détecteurs ont subi les différents essais de recette, ils sont assemblés. Avant que la cellule soit mise en place, interviennent les contrôles électrique et thermique généraux. Enfin les boitiers sont mis sous vide pour y être essayés et réglés.

1) Essais.
Les essais sous vide ont pour but de vérifier que les convertisseurs haute tension et leur raccordement aux détecteurs sont correctement isolés et enrobés, et qu'aucune décharge ne risque de s'amorcer en vol, provoquant soit un bruitage des mesures, soit même la destruction du préamplificateur de signal. La difficulté, pour obtenir ces conditions, provient essentiellement d'un volume disponible extrêment réduit et de la mauvaise adhérence des isolants sur certains composants.

Après un dégazage de plusieurs heures, sous un vide voisin de 10^{-6} torr les convertisseurs haute tension sont alimentés. Il arrive parfois que certaines décharges ne se produisent qu'après plusieurs jours de pompage.

Ce temps de vérification est mis à profit pour procéder au réglage des niveaux de discrimination et des hautes tensions, ainsi qu'à la mesure du rendement de comptage et à l'étude de la linéarité des chaînes de mesure. Le gain des préamplificateurs et amplificateurs a déjà été fixé en fonction des caractéristiques du détecteur associé.

2) But des réglages.
Bien que le bruit de fond, ou courant d'obscurité, des photomultiplicateurs utilisés soit faible celui-ci doit être rendu aussi petit que possible.

Le spectre d'impulsion des détecteurs montre que leur bruit correspond à des impulsions de faible amplitude et que le rapport signal sur bruit augmente lorsque croît la tension appliquée au multiplicateur.

L'élimination du bruit se fait donc en deux temps. La haute tension appliquée au multiplicateur est choisie suffisamment élevée pour que l'amplitude des

La courbe interrompue a été obtenue pour une alimentation haute tension du multiplicateur trop basse.

Ces courbes permettent donc de choisir le niveau de discrimination et la haute tension et d'en déduire dans chaque cas le rendement obtenu.

La courbe de la figure 33 indique les variations du signal mesuré en fonction de la haute tension appliquée au détecteur.

Cet exemple fait apparaître une variation du gain de 1,4% pour la variation de haute tension maximale de 3‰ dans la gamme de température prévue.

5) Résumé des caractéristiques des chaînes de mesure du modèle de vol n° 1 .

	Hydrogène		Deutérium	
	Absorption	Résonance	Absorption	Résonance
Rendement quantique de la photocathode à 1216 Å	7,8%	35%	13%	31%
Haute tension	2890 V	2890 V	2810 V	2810 V
Gain du multiplicateur	$1,4\ 10^6$	$3,5\ 10^6$	$3,10^6$	$5,10^6$
Gain des amplificateurs	600	500	700	1500
Niveau de bruit (à l'entrée du discriminateur)	350 mV	350 mV	350 mV	350 mV
Seuil de discrimination	400 mV	500 mV	1000 mV	600 mV
Rendement de discrimination	69%	79%	57%	69%
Rendement total	5,4%	27,6%	7,4%	21,4%

6) Linéarité .

Lorsque le flux incident reçu par les détecteurs croît, les impulsions produites par amplification des photoélectrons sont de plus en plus nombreuses.

Comme ces impulsions ne sont pas infiniment étroites, la probabilité pour que plusieurs d'entre elles soient confondues augmente. Il en résulte une baisse du rendement de détection de plus en plus forte : le nombre de coups comptés n'est plus une fonction linéaire du flux incident.

Il est nécessaire d'étalonner l'amplitude de ce défaut de linéarité afin de pouvoir effectuer les corrections voulues.

Le montage de mesure est identique au précédent (figure 31) mais les détecteurs de l'expérience sont associés aux compteurs embarquables et à l'enregistreur magnétique. Le nombre de coups ainsi mesuré est comparé au flux détecté par le photomultiplicateur de référence.

Ce photomultiplicateur associé à un électromètre et travaillant pour des flux faibles donne une mesure linéaire du nombre de photons.

La proportionnalité entre les mesures obtenues sur l'axe du faisceau optique et par le détecteur de référence est vérifiée avant et après les mesures de linéarité consacrées à l'expérience.

Résultat.

Pour la dynamique de comptage maximale de 8000 coups comptés en 23 millisecondes, le défaut de linéarité atteint environ 50%, c'est-à-dire que le nombre de coups corrigé est voisin de 12 000 (figure 34).

4.- Essais pratiqués sur l'expérience complète.

4.1 Assemblage de l'expérience.

Les expériences Solaire et Anti-Solaire deviennent solidaires à partir de ce stade.

Leur assemblage est effectué selon une procédure extrêmement précise étant donné la complexité des pièces et le faible volume disponible.

Il a lieu dans une salle dépoussiérée. La propreté de chaque pièce optique est vérifiée avant son montage.

Lorsque le montage est terminé, il est procédé à un nettoyage général de l'ensemble au moyen d'aspirateurs et de jets d'azote sec et pur.

4.2 Réglage des miroirs de calibration solaire.

Le seul réglage nécessaire, après l'assemblage, est celui des deux miroirs de calibration liés aux obturateurs de l'expérience Solaire.

Le faisceau lumineux émis par un laser est rendu parallèle à l'axe mécanique principal de l'expérience donc à celui de la lampe de calibration, par autocollimation sur le miroir de référence de l'expérience.

L'expérience étant placée sur un berceau, il est possible de la faire tourner autour de son axe mécanique de façon à ce que le faisceau laser, ainsi réglé, simule l'émission de calibration après traversée d'un objectif de microscope (figure 35).

Les miroirs réglables sont alors orientés et immobilisés de sorte que les faisceaux qu'ils réfléchissent tombent au centre des réseaux correspondants. La position des images obtenues dans l'ordre zéro est également contrôlée.

4.3 Essais optiques et électroniques de l'expérience assemblée.

Les essais optiques en ultra-violet lointain ne peuvent être effectués que sous vide.

[illegible]

4.2.1. Modèle utilisé (figure 21).

(a) Monochromateur.-
Le monochromateur utilisé est un montage Ebert-Fastie à réseau concave de 1 mètre de rayon de courbure est associé à la cuve. Il permet une résolution de 0,5 Å. Une lampe à décharge dans l'hydrogène, stabilisée par tube, sert de source d'ondes.

(b) Collimateur cylindro-plan.-
La fente de sortie du monochromateur est mise au foyer d'un miroir concave de 2 m de distance focale et de 150 mm de diamètre. Pour des raisons d'encombrement, le faisceau lumineux issu du monochromateur est coupé par deux miroirs plans. La réglage du collimateur ainsi constitué est effectué en lumière visible par l'intermédiaire, rappel d'une cible-écran et réglages dans la cuve. L'orientation du faisceau parallèle issu du collimateur est réglable grâce à deux vérins qui entraînent le miroir concave dans deux directions perpendiculaires de l'extérieur de la cuve.

(c) Séparateur de réflexions.-
Le monochromateur fournit une partie du flux collimaté. Ce détecteur est associé à un photomultiplicateur et à un enregistreur à plume. Il permet de contrôler à tout moment le stabilité du flux et d'effectuer des corrections de mesure en cas de variations, en évitant l'élimination de voies d'étude systématique pour des essais différents.

(d) Fixation échantillon.-
L'échantillon est placé sur un barreau et immobilisé par des écrous en téflon, des rondelles sont maintenues par un support rond solidaire du couvercle. Cet ensemble est monté sur un plateau tournant de façon à ce que les deux axes de rotation (vertical et horizontal) se coupent en un point qui peut être placé au centre de l'un ou l'autre des réseaux de l'enregistreur (double d'ordre), ou dans une position intermédiaire.

La commande de commutation et de rotation, en milieu de cage, est programmable en vue de déclencher à intervalles de temps et rotation dans des proportions déterminées.

(e) Mouvement X.Y.Z. -
Les réglages suivant trois directions de l'espace sont très étudiés pour que le flux incident puisse être mesuré directement. La mesure doit se faire point par point. Pour cela le mouvement X/Z permet de déplacer dans trois axes un détecteur avec une précision du centième de millimètre.

Comme pour le plateau tournant, l'expérimentateur dispose à l'extérieur de la cuve à vide d'un panneau de commande et de repérage.

(f) Mouvement Y.Z. -
Un troisième mécanisme fonctionnant sous vide permet de déplacer un photomultiplicateur de façon à venir le placer sur l'axe principal du faisceau collimaté. Ce mouvement n'a pas besoin d'être très précis. Il permet de vérifier, simplement et sans ouverture de la cuve, que le détecteur de référence placé sur le bord du faisceau donne des indications proportionnelles aux variations de la partie utile du faisceau. Ceci est particulièrement intéressant si la longueur d'onde ou l'intensité doivent être modifiées au cours des mesures (étude de la bande passante, changement de lampe).

4.3.2. Essais préliminaires à la pression atmosphérique.

L'expérience est mise en place dans la cuve à vide, munie d'un faux cache-thermique simulant les perçages du satellite.

Avant de refermer la cuve et de procéder au pompage, l'expérience est alignée sur le faisceau collimaté en lumière visible, puis l'expérience et tous les matériels annexes subissent un essai complet.

Un essai de fonctionnement simultané des deux expériences et de ces différents matériels est effectué dans le but de vérifier l'absence d'interactions électriques.

4.3.3. Essais préliminaires sous vide.

Le but de ces essais est triple.
Ils permettent de s'assurer du bon fonctionnement sous vide, après un temps de dégazage de l'expérience suffisant, de vérifier, pour la première fois sur un modèle donné, les caractéristiques optiques fondamentales en lumière ultra-violette, et enfin, de prélever des mesures qui serviront de références auxquelles seront comparées les mesures effectuées après les essais de vide thermique et en vibrations.

(a) Alignement en lumière ultra-violette.-
Le but de cette opération est d'amener le faisceau lumineux issu du collimateur ultra-violet au centre du champ de l'expérience.

Dans un premier temps, le disque sélecteur est mis en position de mesure globale. Tout le champ de l'expérience est alors accessible à la lumière incidente. Les mesures sont visualisées grâce aux chaînes de comptage CRC extérieures à l'expérience. Afin d'éviter tout vieillissement inutile, la logique de l'expérience est bloquée dans un état tel que les filaments des cellules ne soient pas alimentés.

Si l'alignement approché en lumière visible n'a pas été assez précis pour que la lumière incidente soit dans le champ de l'expérience, il suffit de faire tourner celle-ci à l'aide du plateau tournant jusqu'à l'apparition d'un signal.

Ces mêmes déplacements, par pas, permettent d'observer la traversée du champ par le faisceau incident et par conséquent de procéder à un alignement approché en Lyman Alpha.

Il est possible d'optimiser l'alignement et par conséquent d'augmenter le flux mesuré en faisant tourner le miroir collimateur et en suivant le faisceau avec l'expérience.

Le disque sélecteur est ensuite amené en position de mesure de balayage n° 1 et une mesure est faite.

Les 48 mesures de balayage sont ainsi prélevées successivement. Une grille de correspondance entre les points de mesure et les points du champ, permet de replacer l'image obtenue dans le champ.

Les axes repérés par rapport à cette grille permettent ensuite de déplacer cette image pour l'amener parfaitement au centre du champ (figure 38).

(b) Résultats.-

1) La taille de l'image obtenue donne une première indication sur la qualité du système optique. Les effets combinés de largeur de fente et de bande passante du monochromateur lui confèrent une largeur voisine de cinq minutes d'arc.

2) Le parallélisme des axes optiques H et D de l'expérience est réalisé si le fait d'amener l'une des images au centre du champ entraîne que l'autre s'y trouve également. Si cette condition n'est pas réalisée, l'angle entre ces deux axes est directement mesurable.

3) L'homogénéité et la dimension des champs peuvent être étudiées par simple déplacement de l'image dans le champ. Bien que les lentilles atténuatrices ne soient pas encore en place, ceci renseigne sur l'homogénéité des réseaux, miroirs et cellules. Il faut aussi émettre quelques restrictions quant à la précision de ces mesures en résonance, très faibles. La lampe est en effet utilisée dans des conditions qui assurent une grande puissance mais provoquent également un profond renversement de la raie Lyman Alpha.

4) L'alignement n'étant pas modifié, il est possible de modifier la longueur d'onde que sélectionne le monochromateur et de rechercher, pas-à-pas, comment se déplace l'image en fonction de la longueur d'onde (figure 39). La bande passante ainsi obtenue est de 236 Å, centrée à Lyman Alpha, comme le prévoit le calcul pour une source infiniment fine. Il est bien évident qu'en-dessous de 1180 Å, la transmission est extrêmement faible.

4.3.4. Bande passante.

Définir la bande passante d'un spectromètre à larges fentes, devant l'une desquelles la source est déplacée, l'autre étant explorée par points ne signifie pas grand chose. Or c'est exactement le cas de l'expérience Solaire. Il est possible de définir la largeur de la bande passante théorique maximale pour le champ complet et pour une source ayant les dimensions du soleil (318 Å), mais la valeur absolue des limites est,

d'une part, fixée par la position du soleil dans le champ et d'autre part, limitée par la transmission des optiques et l'efficacité quantique des photomultiplicateurs.

De même dans le cas d'un point de balayage, la largeur maximale théorique de la bande passante est comprise entre 40 et 95 Å selon la position du point par rapport à l'image du soleil.

Il est toutefois intéressant de connaître, pour une configuration donnée, la transmission en fonction de la longueur d'onde. L'image de la fente de sortie du monochromateur est amenée au centre du champ en Lyman Alpha. Le disque sélecteur est mis en position de mesure globale. L'intensité est alors mesurée pour différentes longueurs d'onde, tandis que le flux de référence est enregistré. Les mesures sont ensuite recommencées dans les mêmes conditions à l'aide d'un photomultiplicateur amené par le mouvement YZ sur l'axe du faisceau optique. Connaissant l'efficacité quantique de ce détecteur, en fonction de la longueur d'onde, il est possible de déterminer les variations du flux incident selon la longueur d'onde. Il est vérifié, point par point, qu'entre les deux séries de mesures, le signal de référence n'a pas varié, si une légère dérive est relevée, les mesures sont corrigées de cet effet. Lorsque ces mesures sont terminées, le nombre de coups comptés par l'expérience en calibration interne est relevé ainsi que les niveaux de bruit, dans les différentes configurations d'alimentation des filaments.

L'expérience est ensuite retirée de la cuve. Ce démontage est fait de façon à ne pas altérer les réglages.

L'expérience est alors montée dans un berceau de transport étanche et parfaitement rigide, lui-même placé sur des amortisseurs dans une caisse étanche, pour être transporté au Centre d'Etudes Spatiales de Brétigny et y subir les essais en vibration.

4.3.5. Essais en vibration.

Pour être soumise à des essais en vibration l'expérience doit être montée sur une maquette mécanique du satellite. Ceci est l'occasion de procéder à divers contrôles d'interfaces mécaniques et au réglage des patins guidant le haut de l'expérience dans le tube central du satellite.

Cette maquette est ensuite transportée en container étanche jusqu'au pot vibrant.

Ce dernier se trouve sous une tente à flot laminaire dépoussiéré, qui assurera la propreté au cours des essais. Après la mise en place du satellite sur l'excitateur des accéléromètres sont placés en différents points de l'expérience. Un contrôle complet de l'expérience est effectué avant vibration, entre chaque période d'excitation et après les essais.

Le satellite est ensuite ramené en zone propre, son centre de gravité est déterminé, et l'expérience est démontée puis subit de nouveaux contrôles métrologiques.

4.3.6. Essais après vibration et avant vide thermique.

Les essais en vibration peuvent causer différentes sortes de dégradations.

Quelques détériorations mécaniques sans gravité ayant été relevées sur la maquette de qualification, des modifications ont été effectuées. Elles ne se sont pas reproduites. Il n'a jamais été relevé de détérioration de la partie électrique de l'expérience.

Il peut également se produire des dégradations optiques dues, soit au déplacement d'un élément optique, soit à sa pollution. Ceci nécessite un contrôle sous vide. L'expérience est donc replacée dans la cuve à vide avec les mêmes précautions qu'elle en avait été retirée.

Selon la même procédure, il est vérifié tout d'abord l'alignement de l'expérience et du collimateur. L'angle entre les axes optiques est mesuré, et la bande passante-transmission est déterminée. Les bruits et le flux de calibration sont mesurés à nouveau et comparés aux valeurs de référence prélevées avant vibration.

Ces mesures étant faites, une boite de simulation est montée sur l'expérience et des mesures sont prélevées qui serviront de valeur de référence avant les essais en vide-thermique (figure 40).

4.3.7. Essais en vide-thermique.

Les essais en vide-thermique ont un double but.
Ils constituent l'essai technologique le plus dur du matériel embarqué et permettent de déterminer avant le tir, les variations des caractéristiques de l'expérience en fonction de la température.

(a) Matériel utilisé.-
L'expérience est placée dans un caisson de type Heurtey correctement nettoyé et dont on a vérifié qu'il ne polluait pas des lames en fluorure de lithium témoins.

Une tente à flot laminaire dépoussiérée placée autour de la porte du caisson permet de faire passer l'expérience de son enceinte de transport à l'intérieur du caisson et vice-versa, dans des conditions de propreté optimales.

Autour sont disposés les équipements de contrôle et de mesure déjà décrits.

Dans le caisson, l'expérience repose sur un berceau isolant, aussi bien électriquement que thermiquement, de façon à pouvoir relever les gradients thermiques provoqués par son fonctionnement sous vide. Dans ce but seize thermocouples sont répartis sur l'ensemble Solaire-Anti Solaire, les températures ainsi mesurées sont enregistrées pendant toute la durée de l'essai.

Enfin l'expérience est équipée de sa boite de simulation. Celle-ci comporte 2 collimateurs, à miroir, éclairés par deux lampes à décharge. Ces lampes à capillaire sont respectivement remplies d'hydrogène et de deutérium.

Leur structure permet d'obtenir une source intense et peu étendue. Trois compteurs à photoionisation, remplis de NO, ou de CS_2, donnent accès au flux incident. Afin d'éviter une fluctuation de leur sensibilité au cours des essais, ils sont placés dans une enceinte thermostatée. Ils sont placés suffisamment loin de l'expérience pour ne pas perturber l'état thermique de l'expérience elle-même.

(b) Contrôles et mesures.-
La procédure d'essai comporte une succession de mesures et contrôles, identiques pour différentes températures. Elle débute par un contrôle général à la température ambiante et à la pression atmosphérique. Puis le caisson à vide est définitivement fermé. Les changements de température sont effectués progressivement afin de ne pas créer de gradients trop importants et d'éviter le dépôt sur l'expérience, plus froide, des produits de dégazage de la cuve pouvant être polluants. L'expérience n'est pas mise en route au cours de ces changements de paliers. En ce qui concerne le modèle de qualification, par exemple, l'essai comporte deux paliers de 24 heures aux températures extrêmes de - 15° et + 60°C et trois stabilisations intermédiaires de la température à 0°, 20° et 40°. Dès que les gradients de température sont faibles l'expérience est mise en fonctionnement pour n'être arrêtée qu'en fin de palier. Des essais électriques complets sont effectués ainsi que la mesure des bruits, du signal de simulation et de calibration interne. Pendant le reste du temps les différents paramètres d'une surveillance technologique étroite sont enregistrés. Dans tous les cas un dispositif de sécurité, et d'alarme, arrête automatiquement l'alimentation de l'expérience si la pression vient à dépasser 5 10^{-5} torr.

A la fin des essais, un contrôle général a lieu à la pression atmosphérique et à la température ambiante.

(c) Résultats.-
Les gradients de température ne dépassent pas quelques degrés, ils sont légèrement plus élevés aux basses températures.

Un seul point chaud a été relevé au niveau des transistors de puissance du convertisseur basse tension :

T° de l'enceinte	Point chaud	Ecart
- 6°	+ 8°	14°
40°	47°	7°

Il n'a été relevé aucune anomalie de fonctionnement, si ce n'est la destruction d'un préamplificateur MQ à la température de - 15°C.

Cette température est très nettement inférieure à celle que doit normalement connaître l'expérience dans les circonstances de vol dépointé les plus défavorables.

4.3.8. Calibration absolue de l'expérience.

Après les essais de vide thermique l'expérience est transportée au laboratoire dans son enceinte étanche pour des contrôles et la calibration absolue.

Les contrôles s'effectuent exactement comme après les essais en vibration (cf : § III.4.3.6.).

La calibration consiste à déterminer la transmission de l'expérience. Elle débute par le choix des atténuateurs qui doivent être montés devant les détecteurs "absorption".

Cette opération consiste donc à effectuer une mesure absolue du flux entrant dans l'expérience et à comparer celui-ci au nombre de coups comptés dans ces conditions d'éclairement. Ceci est fait pour la longueur d'onde de Lyman Alpha.

Cette mesure ne peut être faite que pour un point particulier du champ à la fois. Il a été choisi de la faire au centre du champ et de compléter cette information par un balayage du champ point par point en s'assurant de la stabilité du flux incident.

(a) Principe de la calibration absolue.-
Le principe de la calibration absolue consiste à comparer les mesures d'un même flux incident obtenues par un détecteur étalon secondaire et l'expérience.

Les caractéristiques du détecteur étalon secondaire sont données par le constructeur et sont ensuite comparées à celles d'autres détecteurs, étalons primaires, conservés dans des conditions optimales de stockage et rarement utilisés.

Les détecteurs primaires peuvent enfin être étalonnés à nouveau ou comparés aux détecteurs de référence d'autres expérimentateurs.

(b) Procédure de mesure de la transmission absolue.-
L'expérience est placée sur son plateau tournant dans la cuve à vide, de façon à ce que la croisée des axes de rotation se trouve au centre de la pupille d'entrée de la voie de mesure considérée.

Elle est orientée de façon à ce que, à la longueur d'onde de Lyman Alpha, l'image de la fente de sortie du monochromateur se trouve au centre du champ (cf : § III.4.3.3.(a)). Après un temps de dégazage et de stabilisation suffisant des appareils, le flux de référence est enregistré continûment, les caractéristiques d'alimentation de la lampe et du détecteur sont relevées et le nombre de coups comptés par l'expérience noté un nombre élevé de fois.

Après recompression de la cuve, l'expérience est retirée de son berceau en prenant garde de ne provoquer aucun déréglage. Elle est remplacée par un diaphragme, prévu à cet effet, simulant exactement la surface utile des réseaux et leur position.

Les mêmes précautions de dégazage et de stabilisation des appareils étant prises, l'alimentation de la lampe et du détecteur de référence est effectuée dans des conditions identiques. Le flux de référence est à nouveau enregistré. Le détecteur étalon secondaire, diaphragmé par une surface carrée de dimensions connues est alors déplacé derrière le diaphragme simulant les réseaux.

Le mouvement XYZ permet d'effectuer des pas de la largeur exacte de diaphragmation du détecteur.

Le faisceau de lumière utile étant ainsi balayé par pas, les mesures élémentaires sont corrigées d'une éventuelle dérive de la source, détectée par le photomultiplicateur de référence, puis elles sont additionnées et le courant d'obscurité du détecteur secondaire est déduit.

En première approximation, le nombre de photons incidents est égal au courant ainsi obtenu, divisé par le gain du détecteur étalon secondaire, son rendement quantique et par la charge de l'électron.

A partir de la transmission mesurée et du flux solaire les atténuateurs peuvent être déterminés. Ils sont montés et l'expérience subit un nouveau contrôle électrique général, avant que la transmission des voies atténuées ne soit remesurée de façon identique.

Les caractéristiques optiques de l'expérience déjà déterminées sont mesurées une dernière fois (mesures d'étendue des champs, contrôle des alignements, mesure des bruits et du flux de calibration interne dans les différentes configurations possibles de fonctionnement) selon des procédures analogues à celles décrites plus haut. Enfin des mesures sont effectuées en utilisant la boite de simulation comme source.

L'expérience est alors placée dans son enceinte de transport et livrée au Centre Spatial de Brétigny en vue de son intégration définitive au satellite.

4.3.9. Résultat de la calibration (modèle de vol n° 1).

(a) Bruit de fond.-
Ce bruit ne dépasse pas 1 à 2 coups par mesure, quel que soit l'état de chauffage des filaments.

(b) Signal détecté avec la boite de simulation.-
Les atténuateurs étant montés sur les voies "absorption" le nombre de coups mesurés par ces deux canaux est intérieur à 10.

Les voies "résonance" donnent des valeurs voisines de 75 coups.

(c) Alignement.-
L'axe optique deutérium est confondu avec l'axe mécanique de l'expérience à deux minutes d'arc près. Par contre l'axe optique hydrogène est décalé d'environ 12 minutes (à peu près en direction de l'axe : - tangage).

(d) Champs.-
Pour les quatre voies de mesure, le champ est de 92 minutes d'arc.

Ces champs sont à peu près homogènes, à une exception près celui de la voie absorption hydrogène. Ceci semble lié au défaut d'alignement signalé plus haut.

(e) Bande passante.-
Au centre du champ, pour une source de cinq minutes d'arc, les bandes passantes des deux voies "absorption" sont représentées par la figure 41.

(f) Transmission au centre du champ.-
Les valeurs suivantes indiquent directement la valeur du flux incident pour un coup compté par la télémesure.

Absorption hydrogène : 9.10^7 photons cm^{-2} sec^{-1}

Absorption deutérium : 2.10^8 photons cm^{-2} sec^{-1}

Résonance hydrogène : $2,5\ 10^{7}$ photons cm^{-2} sec^{-1} $Å^{-1}$

Résonance deutérium : $8,3\ 10^{7}$ photons cm^{-2} sec^{-1} $Å^{-1}$

ceci à la longueur d'onde de Lyman-Alpha.

5.- Essais du satellite complet.

Liste des opérations effectuées sur le satellite entre la livraison définitive des expériences et le tir.

1. Livraison des expériences au CNES - Brétigny
2. Intégration mécanique des expériences en zone propre
3. Essai électrique de l'expérience
4. Test de compatibilité avec l'ensemble du satellite
5. Fin de montage du satellite
6. Equilibrage mécanique du satellite
7. Equilibrage magnétique du satellite
8. Contrôle général
9. Vibration du satellite (dans les mêmes conditions que § III.4.3.5.)
10. Contrôle général
11. Essais en vide-thermique avec boites de simulation
12. Contrôle général à l'ambiante
13. Essais en vide - Soleil
14. Contrôle général
15. Transport sur le champ de tir
16. Essais de tous les équipements au sol avec MQ
17. Essais complets du satellite en salle propre
18. Répétition de lancement
19. Montage du satellite sur le lanceur
20. Fermeture de la coiffe
21. Essai partiel avant le tir
22. Tir

IV.- Moyens d'accès à l'information télémesurée

1.- Introduction

2.- Direct Data. Contrôle Visuel Immédiat (CVI)

3.- Traitements en Temps Réel (TRL)

4.- Prédictions d'orbite et d'activité solaire

5.- Analyse Technologique différée (ATD)

6.- Traitement Visuel Immédiat (TVI)
- 6.1 Principe
- 6.2 Utilisations
- 6.3 Traitements effectués
- 6.4 Moyens de traitement
- 6.5 Présentation des résultats
- 6.6 Conclusion.

7.- Traitement Visuel Amélioré (TVA)
- 7.1 Principe
- 7.2 Utilisations
- 7.3 Traitements effectués
- 7.4 Description du système TVA
- 7.5 Conclusion.

8.- Traitement de Masse.

IV.- Moyens d'accès à l'information.

1.- Introduction.

Lorsque l'expérience est montée sur le satellite, les données sont recueillies par l'intermédiaire de la chaîne de télémesure. Dès cet instant, tout contrôle de l'expérience passe par une décommutation de la télémesure et un procédé de visualisation. Un certain nombre de systèmes de traitement des données a été mis au point dans ce but, en coopération avec les divisions Satellite et Mathématiques du Centre National d'Etudes Spatiales. En ce qui concerne l'expérience Solaire, il est possible de distinguer six modes de traitement, qui correspondent le plus souvent à des étapes dans la vie de l'expérience.

Ce sont :

1) le Direct Data appelé aussi Contrôle Visuel Immédiat (CVI)
2) les Traitements en Temps Réel (TRL)
3) l'Analyse Technologique Différée (ATD)
4) le Traitement Visuel Immédiat (TVI)
5) le Traitement Visuel Amélioré (TVA)
6) le Traitement de Masse

Les trois derniers ont été conçus pour les expériences selon les spécifications de leurs responsables, tandis que les trois autres, plus généraux, ne considèrent l'expérience que comme l'un des sous-ensembles du satellite.

Afin de pouvoir établir le programme de fonctionnement de l'expérience en vol. L'expérimentateur doit, par ailleurs, être informé des caractéristiques des orbites à venir et de la couverture que peuvent assurer les stations de réception de la télémesure.

Un certain nombre de programmes d'orbitographie ont été mis au point à cet effet.

Dans le cas particulier de l'expérience Solaire des prévisions de l'activité solaire ont été également utilisées.

Ces différents moyens d'accès à l'information sont décrits dans les pages qui suivent.

2.- Direct Data. CVI.

Ces traitements ont pour but de visualiser les informations contenues dans un échantillon de télémesure court.

- Le Direct Data.
Le Direct Data est plus particulièrement destiné à la surveillance satellite au sol, au cours d'essais d'intégration ou d'essais généraux tels que vibration, vide thermique...

L'opérateur a la possibilité de choisir parmi quatorze sous-programmes contrôlant chacun un élément du satellite. Il a un aspect conversationnel. Le traitement est effectué sur 10 000 octets, soit environ 10 formats, avec édition sur télétype.

Deux versions de ce traitement sont disponibles selon le calculateur utilisé : PB 250 en remorque mobile ou le système décrit pour le CVI (figure 42). Le sous-programme "SOLAR" du Direct Data contrôle l'expérience Solaire. Pour chaque voie de mesure et chaque état filament en ce qui concerne la résonance, il donne les valeurs minimale, maximale et moyenne des mesures ainsi qu'un écart quadratique. Les paramètres technologiques sont visualisés. Les différents modes de fonctionnement de l'expérience sont reconnus et annoncés. Par ailleurs ce programme contrôle le déroulement logique des états de l'expérience et fait imprimer la nature des situations incorrectes relevées et combien de fois elles se sont produites.

- Le CVI.

Le Contrôle Visuel Immédiat est identique dans son principe, mais il est adapté au satellite en vol. Il est rendu automatique par enchaînement des différents sous-programmes. Il utilise les seuls paramètres "Modèle de Vol" et ne comporte que les options utiles en vol.

L'édition se fait alors sur imprimante rapide.

La figure 42 schématise le cheminement de l'information dans ce traitement. En phase de routine du satellite en orbite, 3 à 4 traitements CVI sont effectués quotidiennement. Cette fréquence peut être augmentée en cas de nécessité (fonctionnement anormal, élévation des températures en période de "plein soleil"...). Le programme peut alors être affiné en fonction du problème posé.

Au cours des 500 premiers jours en orbite 2530 CVI ont été effectués.

3.- Traitements en Temps Réel.

Le but de ces traitements est de donner accès aux informations le plus rapidement possible au cours des premières orbites. Le retard entre le prélèvement des informations et leur visualisation se compte en secondes.

Ces programmes permettent de surveiller le déroulement des opérations immédiatement après le tir : largage des yoyos, ouverture des panneaux solaires, pointage du satellite..., ou encore, lors de la première mise en marche des expériences. Ils offrent donc la possibilité d'une action rapide si cela s'avère nécessaire.

La télémesure lente reçue par la station IRIS de Brétigny, et celle retransmise par une ligne de 200 bauds à partir des Canaries, sont, chacune, traitées par l'un des deux calculateurs CDC 1700 et le calculateur CDC 6600. Elles sont ensuite visualisées en salle d'opération sur deux écrans Sintra "vu 2000", et rafraichies à chaque format. Un écran IBM 2260 associé au calculateur IBM 1800 assure une redondance.

Il existe cinq sous-programmes de visualisation pour :

- .le contrôle du pointage (E_1)
- .la surveillance du satellite (E_2)
- .les expériences Solaire et Anti-Solaire (E_3)
- .les expériences Polarisation et H.Alpha (E_4)
- .enfin l'expérience REA (E_5)

Le sous-programme E_3 a été utilisé lors des premières mises sous tension des expériences centrales entre le 17 et le 20 avril 1971.

4.- Choix des modes de fonctionnement. Prédictions.

Les responsables scientifiques, et ceux des opérations, ont besoin de savoir, à l'avance, quelles seront les caractéristiques de l'orbite, les configurations intéressantes, les possibilités de transmettre des ordres, les périodes d'ensoleillement du satellite.

Par ailleurs l'un des modes d'accès aux informations scientifiques, le TVI, ne comporte aucune indication d'orbitographie, ni de temps, autre que le numéro du format de télémesure.

Il est donc nécessaire de disposer, par ailleurs, de ces informations pour aider à la compréhension des phénomènes observés.

Trois principaux programmes permettent d'éditer périodiquement les prévisions nécessaires.

(a) Prédictions.-
Ce programme donne pour des instants séparés de quatre minutes, une liste de 15 paramètres caractérisant la position du satellite.

(b) Phoebus.-
Le programme Phoebus donne pour chaque révolution l'heure de début et de fin de la phase ensoleillée de l'orbite, en temps universel.

(c) Opéra.-
Ce programme permet de prévoir les périodes pendant lesquelles le satellite est visible par les différentes stations du réseau de télémesure, ainsi que la valeur de l'angle de culmination qui est un critère de qualité des transmissions.

(d) Feuilles d'état journalier. Messages MOP 111.-
Les feuilles d'état journalier et les messages d'opération MOP 111 donnent, au jour le jour, l'état de fonctionnement des expériences et de l'ensemble du satellite.

(e) Messages Géosol.-
En ce qui concerne, plus particulièrement, l'expérience Solaire il est souhaitable de connaître l'activité solaire, et dans la mesure du possible

de prévoir les évènements exceptionnels tels que les éruptions. Dans ce but, le Service Solaire de l'Observatoire de Meudon a accepté d'adresser quotidiennement au centre d'opération de Brétigny et au responsable scientifique un message télex dit Géosol.

Ce texte indique la valeur des principaux indices d'activité pour la journée précédente, décrit plus en détail les évènements importants et permet de déclencher une alerte en prévision d'observations intéressantes.

Ces informations sont complétées par l'envoi d'un spectro-héliogramme lorsque les conditions météorologiques ont permis de l'obtenir.

5.- Analyse Technologique Différée (ATD).

Les programmes ATD permettent l'édition de la télémesure sous forme de listings ou de courbes (Calcomp). Ils sont utilisés pour le contrôle fin du satellite entre deux visibilités.

Il existe 38 sous-programmes. Parmi les 25 qui sont consacrés aux expériences, 9 sont spécifiques de l'expérience Solaire.

Les courbes Calcomp ainsi obtenues donnent une vue globale des paramètres choisis au cours d'une orbite complète. La panne de l'enregistreur magnétique du satellite a fait perdre beaucoup de leur intérêt à ces programmes.

6.- Traitement Visuel Immédiat.

6.1 Principe.

Le TVI est, en dehors des Traitements en Temps Réel réservé aux premières orbites, le moyen d'accès le plus rapide aux informations scientifiques.

Il se présente sous la forme d'enregistrements analogiques et de listings disponibles de quelques minutes à quelques heures après la transmission des données à la station de Brétigny.

Les données de l'expérience y sont visualisées en ordre chronologique, à l'exclusion de toutes données d'attitude ou d'orbitographie.

Quelques opérations simples et automatiques sont effectuées sur les données pour les rendre soit plus intelligibles soit pour simplifier leur présentation.

6.2 Utilisations du TVI.

Les trois utilisations principales du TVI Solaire sont les suivantes :

- .contrôle des opérations,
- .surveillance technologique,
- .premier accès rapide aux mesures.

(a) Opérations.-
Le TVI permet de contrôler rapidement l'exécution des ordres de télécommande envoyés et de réagir en cas de non-exécution ou de fonctionnement indésirable.

(b) Surveillance.-
Le TVI sert à la vérification périodique du bon fonctionnement de la logique solaire et de ses mécanismes, à la détection de pannes éventuelles, à la surveillance des hautes tensions et des températures, ainsi qu'au calcul du vieillissement au jour le jour.

Il a également permis d'évaluer rapidement la qualité du pointage de l'expérience en direction du Soleil, ainsi que l'écart existant entre les axes optiques des senseurs solaires et ceux de l'expérience (cf : chapitre V.6. - Comportement de l'expérience en vol).

(c) Mesures.-
Dès les premières mises sous tension, le TVI a rendu possible la comparaison entre le taux de comptage en vol et celui que laissaient prévoir les calibrations.

Le TVI a donné une mesure des bruits filaments dus aux cellules et à la lumière parasite, dont découle la détermination de seuils en deça desquels les mesures de balayage sont extérieures au disque solaire.

Cette détermination, nécessaire à la reconstitution des images, n'est pas faisable avant le tir avec une précision suffisante. En effet, le choix de ces seuils est relativement critique, fixés trop haut, ils entraînent un doute quant à la position de l'image dans le champ, s'ils sont trop bas la reconstitution ne peut se faire.

Enfin la visualisation des mesures permet une première évaluation des données, utile tant au point de vue de la suite du traitement qu'au point de vue scientifique.

6.3 Traitements effectués.

6.3.1 Décommutation. Classement. Synchronisation.

La première opération effectuée, après un test de la qualité de l'enregistrement, est la décommutation des données de l'expérience, ce qui consiste à rechercher dans le format de télémesure tous les mots relatifs à l'expérience Solaire et à leur attribuer la signification qu'il convient.

Ces mots de télémesure sont ensuite interprétés :

(a) Les status sont traduits en terme d'état de fonctionnement.

(b) Les fonctions de transfert établies au laboratoire sont appliquées aux mesures analogiques de façon à obtenir des mesures de température en degrés celsius et des mesures de tension en volts.

(c) Les mesures solaires sont, elles-mêmes, exprimés en nombre d'impulsions à partir des valeurs, N et M , données par les compteurs à virgule flottante selon l'expression : $2^N (M + 32) - 32$.

Intervient alors, dans le cas de l'expérience Solaire, la resynchronisation des informations. En effet, du fait de l'utilisation de mémoires tampons, les mesures scientifiques sont retransmises avec un certain décalage. Ceci oblige parfois à aller rechercher l'état de l'expérience associé à ces mesures, dans le format de télémesure précédent.

Enfin, les images solaires brutes sont reconstituées.

6.3.2. Reconstitution des images solaires brutes dans le champ de l'expérience.

1) Exposé du problème.

Le champ de l'expérience est inscrit dans un trapèze semi-circulaire de 30° d'ouverture (figure 38) référencé en coordonnées polaires.

Il est constitué de 288 éléments, arrangés en 18 lignes et 16 colonnes.

A chaque élément est affecté un numéro compris entre 1 et 48. Chacune des 48 données brutes des quatre voies de mesure a pour origine l'un des différents points du champ de numéro égal à son rang dans la séquence de mesure.

Il s'agit de composer ces points pour former une surface dense et de forme à peu près circulaire, ou ce qui revient au même, de déterminer parmi les trous du disque sélecteur présents dans le champ, lequel était éclairé par le soleil au moment de la mesure. Il a été jugé préférable de ne pas utiliser les données des senseurs solaires pour cette reconstitution. En effet ces mesures ne sont pas synchrones de celles de l'expérience et obligent donc à des extrapolations peu précises. Elles peuvent par ailleurs être affectées d'erreur, ou de dérive, ce qui est pire dans le cas d'un traitement automatique.

C'est donc un programme déduit de la logique même de balayage, due à la structure du disque sélecteur qui est utilisé.

Un certain nombre de programmes ont été mis au point. Celui qui a été retenu pour le TVI est également utilisé pour le Traitement Visuel Amélioré (TVA) et pour le Traitement de Masse.

2) Données du problème.

(a) A conditon que le disque sélecteur fonctionne normalement, la position des trous présents dans le champ est connue pour chaque mesure. Ces trous ne peuvent pas être éclairés simultanément.

(b) Tel que le champ est représenté sur la figure 38, l'image solaire est explorée ligne par ligne, de droite à gauche et, en général, de bas en haut.

(c) La numérotation des points du champ est cyclique, modulo 48. L'information numéro 48 précède, géométriquement dans le champ, l'information n° 1.

(d) Un diamètre solaire comprend au maximum sept éléments du champ.

(e) A tout point du champ, non recouvert par l'image du Soleil, correspond une information inférieure à un certain seuil fonction de l'épaisseur optique. Une telle information signale un changement de ligne.

(f) La séquence de 48 mesures se décompose en plusieurs suites d'informations, non nulles, chacune étant l'image d'une ou plusieurs lignes du champ. Ces parties du champ contiennent exclusivement des points, au moins partiellement, recouverts par l'image du Soleil.

(g) Une suite continue d'informations non nulles, provient soit de la ligne juste au-dessus de celle dont provient la suite précédente, soit d'une ligne située 6 ou 7 lignes en dessous. Dans ce dernier cas, le balayage passe d'un bord du soleil au bord opposé. Une telle césure ne peut se produire qu'une fois, au plus, au cours d'un même balayage.

(h) Il est parfois impossible de localiser, à priori, le changement de ligne de balayage.

(i) Il faut envisager la possibilité d'avoir des images dissymétriques dans le cas où le Soleil viendrait à être partiellement hors du champ.

(j) La solution n'est pas toujours unique. Une même configuration de l'image peut être trouvée en plusieurs endroits du champ (figure 43).

3) Solution au problème de la reconstitution des images brutes

(a) La première opération consiste à filtrer les mesures pour déterminer celles qui correspondent à des mesures solaires et dont le niveau de comptage dépasse, par conséquent, le seuil de bruit.

La solution recherchée est la même pour les voies Absorption et Résonance d'une même cellule, mais différente pour les deux cellules. Le rapport signal sur bruit étant plus favorable dans le cas de la Résonance, ces mesures seront utilisées.

(b) Par principe, il existe toujours une suite d'informations non nulles de moins de 8 éléments.

La première qui se présente est retenue. Soit n le rang du premier élément de cette suite. Une image va être construite à partir de tous les points du champ d'ordre n, avec une contrainte de convexité.

(c) Contrainte : la distance des centres de deux lignes adjacentes doit être inférieure ou égale à la demi-différence de leur longueur.

(d) Si la contrainte n'est pas vérifiée, cela peut être dû à une césure. Dans ce cas, la ligne ne vérifiant pas la contrainte est placée M lignes plus bas, M étant le nombre de lignes, supposé connu. Si M n'est pas connu, l'opération est répétée deux fois pour $M = 8$, puis pour $M = 7$.

(e) Si la contrainte n'est toujours pas vérifiée l'image est rejetée.

(f) Il peut exister une indétermination sur la position exacte de la césure. Celle-ci peut être levée par l'adjonction d'une condition de convexité supplémentaire : une ligne de moins de quatre éléments ne peut être insérée entre deux lignes dont la longueur lui serait supérieure ou égale.

(g) L'image est ainsi construite pas à pas. L'écart entre les numéros des débuts de ligne successifs est au plus égal à la longueur L du diamètre solaire placé sur la ligne immédiatement inférieure. Cette longueur est déterminée à chaque instant. Lorsqu'une suite d'informations non nulles comporte plus de L mesures, la ligne correspondante est construite à partir des L premiers termes, le reste est affecté aux lignes suivantes.

(h) Le traitement se poursuivant ainsi, donne toutes les images convenables. Pour effectuer un choix entre celles qui n'ont pas été rejetées, il existe deux critères.

(i)Lorsque le nombre de mesures non nulles de la séquence de balayage est inférieur à 25, c'est-à-dire si le nombre de points élémentaires ne peut s'expliquer sans que l'image soit partiellement hors du champ, toutes les configurations qui ne contiennent pas les frontières du champ sont éliminées.
(ii)Il existe une relation biunivoque entre les positions des images Hydrogène et Deutérium. En cas de doute sur la position de l'une ou des deux images, le couple d'images qui correspond le mieux à cette relation est adopté.

6.4 Moyens de traitement utilisés pour le TVI.

La télémesure prise en compte par le Traitement Visuel Immédiat provient, soit de la station de réception de Brétigny, c'est le cas le plus fréquent, soit de données acheminées d'autres stations du réseau par cable spécialisé.

Exceptionnellement, il peut également être mis en oeuvre à partir des bandes analogiques reçues des stations. Il est alors évident, étant donné les délais de transport, que l'aspect immédiat du TVI n'est plus recherché. Le traitement est effectué grâce à l'ensemble de décommutation analogique de télémesure PCM et à la chaîne de traitements numériques CARINA, au Centre de Traitement de Télémesure du CNES à Brétigny.

En ce qui concerne l'expérience Solaire, l'exploitation du Traitement Visuel Immédiat a été arrêtée en février 1972.

6.5 Présentation des résultats du TVI solaire.

1) Enregistrements analogiques.

Ces enregistrements sont effectués sur un traceur Brush à 6 pistes.

Pour toute séquence de télémesure, il existe quatre enregistrements successifs correspondant aux quatre voies de mesure de l'expérience.

Les informations de chaque enregistrement sont resynchronisées, dans l'ordre chronologique de prélèvement.

Sur chaque enregistrement figurent :

Piste n°1 La valeur codée du dernier chiffre du numéro de format (chiffre des unités).

Piste n°2 L'état codé des filaments de la cellule (y compris un état anormal).

Piste n°3 Les états codés de la calibration interne et de la tension de chauffage des filaments.

Piste n°4 La gamme de comptage utilisée par la piste n°5.

Piste n°5 Le nombre de coups mesuré dans la gamme précédente.

Piste n°6 L'état codé des mécanismes obturateur et sélecteur d'images.

2) Listes.

Toutes les informations brutes de l'expérience y sont transcrites, le plus souvent en clair.

La mise en page correspond à l'ordre chronologique de prélèvement des données.

Il s'ajoute aux données brutes :

- le numéro du format de télémesure,
- les données des senseurs solaires,
- la moyenne des 48 premières mesures de la séquence de 49
- et des grilles représentant le champ de l'expérience dans lesquelles sont reportées les images brutes reconstituées. Chaque point de l'image y est représenté par le nombre de coups correspondant

6.6 Conclusion.

Le Traitement Visuel Immédiat a parfaitement joué le rôle qui lui a été donné au paragraphe IV.6.2. dès les premières mises sous tension de l'expérience, et ceci avec une excellente régularité.

7.- Traitement Visuel Amélioré (TVA).

7.1 Principe.

Le Traitement Visuel Amélioré permet des traitements nettement plus évolués que le TVI. Il y a à cela trois raisons principales :

(a) Le TVA associe aux données des expériences des informations d'orbitographie et d'attitude du satellite ce qui n'est pas le cas du TVI.

(b) Le TVA est un système conversationnel de visualisation différée des données alors que le TVI est entièrement automatique. Il offre à l'expérimentateur la possibilité de corriger et de classer les informations.

(c) Enfin, le TVA peut être modifié. Grâce à cela ses possibilités ont été accrues au fur et à mesure de son utilisation.

7.2 Utilisation du TVA.

Le TVA, plus perfectionné que le TVI, permet d'obtenir tous les traitements de ce dernier. Mais sa mise en oeuvre est moins aisée et plus coûteuse si bien que même après sa mise au point le TVI a longtemps conservé son rôle tel qu'il a été défini précédemment.

Le fait de disposer de l'attitude et des données d'orbitographie permet de passer d'un jugement qualitatif des mesures à de véritables traitements.

Les buts du Traitement Visuel Amélioré sont donc de deux ordres :

.donner accès aux données propres permettant une compréhension des phénomènes physiques

.définir le prétraitement des données et les corrections, afin d'aboutir à la mise au point du Traitement de Masse.

7.3 Traitements effectués par le TVA.

Les opérations préliminaires :

.évaluation de la qualité de la télémesure

.décommutation des données, interprétation

.resynchronisation

sont les mêmes que pour le TVI.

Il s'y ajoute le traitement des données d'orbitographie et d'attitude, ainsi que l'introduction du temps universel.

7.3.1. Diagramme des traitements scientifiques.

La figure 44 schématise l'organisation des traitements scientifiques qui vont être décrits.

7.3.2. Reconstitution des images brutes.

Le traitement utilisé pour la reconstitution des images brutes est identique à celui utilisé pour le TVI (cf : § IV.6.3.2.).

7.3.3. Orientation des images.

L'axe des pôles solaires n'est pas confondu avec la normale au plan de l'écliptique mais fait un angle de 7° 15' avec celle-ci. Pour un observateur terrestre il en résulte qu'au cours d'une année cet axe semble décrire un cone.

D'autre part, la rotation du satellite autour de son axe provoque une rotation de même amplitude des images solaires dans le champ de l'expérience. C'est donc à partir des données des magnétomètres, de la date de la mesure et des équations de changement d'axe propres à chaque système optique, Hydrogène et Deutérium, que la direction du Nord Solaire peut être calculée et reportée sur les images.

L'incertitude absolue sur l'angle de rotation, déduit d'une mesure isolée des magnétomètres est de plus ou moins trois degrés, après le traitement d'une suite de données l'incertitude est bien plus faible ($\pm$ 1°).

7.3.4. Linéarisation des mesures.

Le niveau de comptage à partir duquel il n'y a plus linéarité entre le flux incident et la mesure n'est atteint que par les mesures globales, prélevées sur l'ensemble du disque solaire.

Pour chaque voie de mesure, la loi de correction a été déterminée lors de la calibration des boitiers détecteurs (cf : § III.3.13.6 et figure 34).

Cette correction est appliquée ici systématiquement.

7.3.5. Calibration en vol du champ de l'expérience.

1) But :

Une image du soleil est reconstituée à partir de mesures effectuées en différents points du champ de l'expérience. La transmission de ces différentes aires d'analyse n'a aucune raison d'être parfaitement identique (inhomogénéité des miroirs, des fenêtres des cellules...).

Afin de corriger les mesures de cet effet il est donc nécessaire de déterminer la transmission, point par point, des champs de l'expérience.

Cette calibration est mal aisée à réaliser au sol avec précision, faute d'une source simulant l'intensité solaire à Lyman Alpha. De toutes façons, il est raisonnable de s'assurer de sa validité après la mise en orbite.

2) Principe :

La calibration en vol est obtenue par une méthode statistique. Le principe en est le suivant.

Etant donné les imperfections du système de pointage et la rotation du satellite, un point particulier du champ sera "visité" un nombre égal de fois par tous les points du soleil, à condition d'utiliser un nombre suffisant d'images.

Ceci permet théoriquement de s'affranchir des inhomogénéités de la chromosphère et de considérer que le champ ayant été uniformément éclairé, la moyenne d'un grand nombre de mesures effectuées en un même point du champ est proportionnelle à la transmission en ce point. Le résultat final constitue donc une carte des transmissions des différentes aires élémentaires du champ.

Cette méthode doit être utilisée dans des conditions qui assurent sa convergence aussi rapidement que possible, d'où la nécessité de s'entourer d'un maximum de précautions.

3) Précautions nécessaires :

(a) Bien que les inhomogénéités de la surface du Soleil doivent s'éliminer, il est prudent de les minimiser au départ, donc d'éviter l'utilisation de mesures trop étalées dans le temps, ou prélevées en période d'activité solaire importante.

(b) Les images utilisées doivent correspondre à des conditions de mesures comparables :

- .effet Doppler voisin
- .pas d'atténuation crépusculaire importante
- .expérience dans un état comparable (vieillissement).

Les deux premières conditions sont réalisées lorsque l'angle Satellite-Terre-Soleil est inférieur à 45°, la dernière impose que toutes les informations prises en considération aient été prélevées dans un temps assez restreint.

(c) Parmi toutes les séquences de 48 mesures ainsi sélectionnées ne doivent être utilisées que celles dont la qualité est satisfaisante et qui sont correctement replacées dans le champ de l'expérience.

(d) Enfin pour toute image choisie ne sont conservés que les points totalement recouverts par le Soleil.

Toutes ces conditions imposent des choix qui ne peuvent être automatisés simplement. Il sera donc fait appel à l'aspect conversationnel du TVA.

4) Utilisation de la méthode :

Il est constitué un fichier de 48 matrices, soit trois matrices par voie de mesure absorption et autant pour chacune des sept épaisseurs optiques des voies de résonance.

Ces matrices, à 16 colonnes et 18 lignes comme le champ de l'expérience, reçoivent trois types d'information, pour chaque aire élémentaire de balayage :

.le nombre de fois que chaque élément a été sélectionné pour le traitement

.le flux moyen reçu par cet élément à la suite de l'ensemble du traitement qui a précédé

.un écart quadratique.

Pour un flot de mesures jugé convenable, les quatre images de chaque demi-format de télémesure sont successivement visualisées sur un écran en compagnie d'un certain nombre de paramètres. Si une image est jugée bonne pour la calibration, elle est épurée des points incomplets ou visiblement erronés ; puis elle est transférée dans la matrice n°2 tandis que dans la matrice n°1, les éléments correspondant aux points du champ utilisé sont incrémentés d'une unité. Une publication sur listing de l'état des 48 matrices est effectuée à la demande, mais celles-ci sont sauvegardées sur disque magnétique pour la suite des opérations de calibration. Les matrices n° 2 et 3 permettent de juger de la convergence de la méthode, la matrice n° 1 permet de surveiller la couverture du champ obtenue.

5) Résultats :

Cinq mille images obtenues entre les 18 et 27 avril 1971, par les différentes voies de mesure, ont ainsi été traitées manuellement.

La figure 45 résume les résultats obtenus pour la voie absorption deutérium. Plus la valeur indiquée est grande plus la transmission de l'élément considéré est élevée.

7.3.6. Calibration des images.

A chaque mesure d'une séquence de balayage le programme de reconstitution des images associe un point du champ. La calibration des points de l'image, les uns par rapport aux autres, consiste simplement à appliquer à chacune des mesures le facteur de transmission obtenu pour la voie de mesure correspondante. Ce facteur est contenu dans l'élément de la matrice n° 2 associé à chaque point de l'image.

7.3.7. Lissage des images.

1) Présentation de la méthode :

Par construction, le champ de l'expérience est divisé en aires d'analyse d'environ cinq minutes d'arc de côté. La résolution spatiale que l'on peut attendre d'un tel système est encore abaissée par la dérive du pointage (une minute d'arc au cours du balayage) et la rotation du satellite (2,5 minutes d'arc entre le 1er et le 48ème point).
Il est donc souhaitable d'améliorer la qualité des images.

Or ces mêmes imperfections de pointage et le fait que la période de prélèvement des images ne coïncide pas avec la période de rotation du satellite assurent que le découpage des images solaires n'est pratiquement jamais identique.

Il est par conséquent possible d'utiliser, dans le TVA, un programme de calcul qui soit une adaptation de la méthode de compositage de Lyot, afin de lisser les images obtenues par l'expérience.

Les opérations à effectuer sont les suivantes :

(a) Reconstitution des images brutes
(b) Calibration des mesures
(c) Détermination du centre des images
(d) Orientation des images
(e) Superposition des images de même type
(f) Sommation
(g) Visualisation du résultat.

2) Méthodes utilisées :

(a) Les images brutes sont reconstituées grâce au programme commun au TVI et au TVA déjà décrit.

(b) La calibration intervient ensuite comme il a été dit au paragraphe IV.7.3.6. en tenant compte des résultats de la calibration des champs en vol.

(c) De la précision avec laquelle sera déterminé le centre de chaque image dépend en grande partie le gain de qualité que donnera le compositage. Plusieurs méthodes ont été utilisées et comparées avant de choisir la meilleure.

- Une première méthode consiste à calculer la position du barycentre des points du champ obtenus après reconstitution de l'image, chaque point étant affecté d'un poids égal. L'incertitude obtenue par ce procédé est de plus ou moins 1,25 minute d'arc sur chaque image traitée. L'erreur commise lors de la superposition peut atteindre le double ce qui est beaucoup trop.
- La méthode précédente peut être affinée en attribuant à chaque point de l'image un poids égal à la mesure calibrée qui lui est associée.

Plusieurs causes d'erreur peuvent entrer ici en jeu. En supposant qu'il n'y ait aucune mesure aberrante susceptible de fausser complètement le calcul, il y a tout d'abord l'imprécision sur le nombre de coups mesurés. Bien que relativement élevée sur une seule mesure, sur une trentaine de points l'erreur résultante est faible. Pour s'en rendre compte il suffit de considérer une image théoriquement uniforme de 30 points ayant chacun un niveau de comptage de 200 coups.

L'erreur relative pour un tel niveau de comptage peut atteindre 10% ($\frac{\sqrt{n}}{n} = \frac{7}{100}$ + erreur due à la virgule flottante 3%).

La position du barycentre sera la plus erronée dans le cas, peu probable, où toutes les mesures situées d'un même coté de l'image sont sous-estimées, les autres étant toutes sur-estimées.

Les barycentres des deux demi-images considérées étant distants de 14 minutes d'arc, une erreur de + 10% sur la pondération de l'un et de - 10% sur celle de l'autre n'entraîne qu'un déplacement de 0,7 minutes d'arc par rapport au barycentre théorique.

Le fait que le disque solaire ne soit pas uniformément lumineux en Lyman Alpha peut également introduire deux types d'erreurs.

Tout d'abord, il se produit un déplacement du barycentre théorique en direction des régions les plus émissives. Cette erreur est systématique, elle affecte également toutes les images comparables et n'a donc pas d'effet sur la précision de leur superposition. Il y a aussi l'incertitude sur la position des surfaces fortement émissives d'une image à l'autre. Ainsi une différence de pointage de deux minutes d'arc, par exemple, peut faire attribuer une surface lumineuse de cet ordre de grandeur à l'un ou à l'autre de deux trous de balayage voisins, soit un déplacement de cinq minutes d'arc du "poids" de cette région émissive.

Ceci amène à distinguer deux possibilités pour l'attribution des poids aux points du champ, soit prendre les mesures de résonance (meilleure discrimination des bords du disque mais présence de fortes inhomogénéités), soit utiliser les mesures d'absorption (inhomogénéités peu marquées, mais aussi discrimination des bords moins précise).

Cette complémentarité des avantages et des inconvénients fait penser à une combinaison des deux méthodes de pondération.

Une toute autre méthode pour déterminer le centre des images consiste à utiliser les données des senseurs solaires. Celles-ci sont retransmises toutes les huit secondes, aucune ne coïncide avec le moment de prélèvement des balayages. Il est donc nécessaire de procéder à une interpolation. La méthode qui a été retenue prend en considération six mesures encadrant l'instant d'échantillonnage de l'image. L'interpolation se fait indépendamment sur les deux composantes, tangage et lacet, après avoir déterminé la portion de sinusoïde la plus approchée des données disponibles.

La précision que l'on peut attendre d'une mesure des senseurs solaires est voisine de une minute d'arc. L'interpolation doit comporter une incertitude du même ordre de grandeur. Il faut pourtant remarquer que les valeurs ainsi obtenues sont valables, avec l'incertitude donnée, à un instant bien précis et ne tiennent pas compte des dérives au cours du balayage comme le font les méthodes précédentes. L'erreur résultante dépend essentiellement de la position, par rapport à l'image solaire, du point élémentaire prélevé à l'instant de l'interpolation.

Comparaison des diverses méthodes. Critères de choix.

Cinq méthodes ont donc été essayées :

- .senseurs solaires
- .pondération unitaire

.pondération par les mesures de résonance
.pondération par les mesures d'absorption
.barycentre moyen des trois derniers.

Les coordonnées des centres obtenus par les différents procédés sont listées en même temps que les images compositées qui en résultent. Il est donc possible de tracer des courbes représentant le déplacement évalué du soleil dans le champ de l'expérience d'une part, et de comparer la qualité des images lissées d'autre part.

- Les déplacements déduits des mesures d'attitude apparaissent assez nettement différents de ceux que donnent les autres méthodes (figure 46)
- La qualité des images (détails observés, amplitude des contrastes entre régions calmes et actives) fait choisir le barycentre moyen des trois procédés de pondération.

(d) Les images sont orientées comme il a été dit précédemment. En ce qui concerne le compositage, c'est la rotation relative d'une image par rapport aux autres qui importe, c'est-à-dire la vitesse de rotation du satellite. L'erreur sur cette vitesse est inférieure d'un ordre de grandeur à l'incertitude sur la position des aires de balayage que provoque cette même rotation au cours de l'exploration.

(e) L'image solaire brute est reconstituée, centrée et orientée dans le champ C1 de l'expérience, mobile par rapport à cette image. Superposer les différentes images qui doivent être compositées revient à transposer celles-ci dans un nouveau champ C2 fixe par rapport au soleil. Afin de simplifier le traitement et la visualisation C2 est pris dans un système cartésien, ayant pour origine le centre du Soleil, l'axe Y est orienté selon la direction du Nord Solaire. C2 est découpé en 484 aires élémentaires ce qui correspond à une résolution voisine de 1,5 minute d'arc.

La surface solaire observée au cours d'une mesure est proportionnelle à la surface du trou de C1 qui la reçoit. La forme de ce trou doit donc être restituée dans C2, sa contribution à chaque élément de C2 est proportionnelle à la surface commune.

Afin d'avoir une référence commune aux deux champs C1 et C2, la surface du trou central de C1 est prise pour unité.

Le procédé de passage de C1 à C2 est le suivant.
La grille C1 est démultipliée dans un rapport Q^2 croissant avec la précision demandée. Un pavage plus fin est ainsi obtenu, toujours en coordonnées polaires.

Il est affecté à chaque micro-élément ainsi créé un nombre de coups $\frac{M}{Q^2}$ supposant que la valeur mesurée M est équirépartie sur toute la surface vue. Il suffit alors de deux changements de coordonnées pour localiser dans C2 chaque micro élément de C1. Puis tous les nombres de coups micro-élémentaires contenus dans chaque élément de C2 sont additionnés.

(f) Sommation des différentes images :
Lorsqu'une image a ainsi été transférée dans la grille fixe C2, elle est mise en mémoire. L'opération est ensuite recommencée pour une nouvelle image qui sera finalement additionnée à la première, élément

par élément. Le résultat est sauvegardé et la sommation se poursuit ainsi.

(g) Visualisation des images compositées :
Le résultat est visualisé sous la forme de tableaux listés, à 22 lignes et 22 colonnes.

Il existe pour chaque flot ainsi traité 10 images : 2 images absorption (H et D) et 4 images résonance pour chaque voie (H et D), soit une par épaisseur optique.

Pour les trois épaisseurs optiques différentes de zéro, la valeur représentée est donnée après déduction de la lumière parasite, c'est-à-dire après soustraction point par point de la valeur à l'épaisseur optique nulle.

(h) Choix des images à associer :
Les images élémentaires doivent tout d'abord être correctement repositionnées et orientées dans le champ et tout point aberrant doit en avoir été soustrait.

De même, ce procédé de lissage n'a de sens que si les images associées représentent le même objet. Cela conduit à respecter un certain nombre de conditions dans leur choix.

1) Condition de temps.
La sévérité de cette condition dépend de la stabilité du détail recherché :

- Une éruption solaire ne dure généralement que quelques minutes, quelques heures au plus.

- Les taches et plages varient peu pendant de nombreux jours, mais elles se déplacent sur le disque solaire et ceci à des vitesses apparentes différentes selon leur latitude et leur longitude.

La vitesse est maximale au centre du Soleil où elle atteint 0,155 minute d'arc par révolution.

2) Condition due à l'effet Doppler.
Celui-ci n'intervient de façon importante que pour les mesures de résonance, il est causé en majeure partie par le mouvement du satellite autour de la Terre et par la rotation du Soleil.

La variation de la distance Terre-Soleil est assez lente pour être négligeable dans ce cas précis.

3) Condition due à l'absorption géocoronale.
Cette absorption, fonction de l'épaisseur optique géocoronale traversée par le rayonnement solaire, ne déforme que le centre de la raie, seules les mesures de résonance par l'hydrogène y sont sensibles. Toutefois, il est possible de considérer qu'à un instant donné, l'atténuation qui en résulte est constante sur l'ensemble du disque solaire ce qui permet d'observer les variations relatives d'intensité d'un point du disque solaire à un autre.

7.3.8. Profils de la raie Lyman Alpha.
Pour comparer les profils des raies Lyman Alpha émises en différents points de la chromosphère, et par l'ensemble de celle-ci, la méthode la

plus directe consiste à tracer les courbes donnant les mesures correspondantes en fonction de la longueur d'onde, ou ce qui revient au même de l'effet Doppler.

En ce qui concerne l'émission de l'ensemble du disque solaire, cette opération se fait simplement après linéarisation des mesures et soustraction du bruit de fond.

Dans le cas d'un point du Soleil, les images brutes ne sont pas directement utilisables étant donné que le découpage par le disque sélecteur n'est pas le même d'une image à l'autre. Comme dans le cas du compositage les images brutes doivent d'abord être transposées dans une nouvelle grille C'_2 . La méthode utilisée est la même mais une définition moindre est exigée. La grille C'2 aura un pas de l'ordre de 5 minutes d'arc pouvant être modifié sur demande.

Les points contenant le bord de l'image sont trop bruités pour être exploitables et sont éliminés. Il reste finalement seize régions carrées de 5 minutes d'arc de côté.

Une sommation de ces zones est également effectuée. Elle permet une comparaison avec la mesure globale. Pour chaque point ou mesure globale, le signal est donc représenté en fonction de l'effet Doppler. Parmi les quatre courbes obtenues en résonance, celle qui correspond à l'épaisseur optique nulle, et qui représente donc un niveau de lumière parasite, est déduite des autres.

Le fait que l'effet Doppler passe par un maximum, en valeur absolue, lorsque l'angle Satellite-Terre-Soleil prend la valeur de 90° introduit une légère difficulté de classement des données. Cet angle est donc utilisé pour faciliter le traitement.

Résultats.

Si dans le cas du compositage, les erreurs se compensent statistiquement, les fluctuations observées sur chaque carte sont suffisamment importantes pour que le résultat ne soit pas directement exploitable. Ce traitement présente par ailleurs différents inconvénients. La grille C'2 étant fixée à priori n'encadre généralement pas correctement les régions solaires d'activité différentes. Sauf exception la valeur obtenue en l'un de ses éléments provient de la contribution de quatre points de balayage, et il en est de même du bruit qui doit lui être soustrait.

La dimension de cinq minutes d'arc qui correspond à peu près à la taille des plages importantes n'est pas idéale. Si cette dimension est augmentée pour le traitement il va de soi que chaque aire élémentaire sera l'image de régions solaires plus disparates. Il semble donc qu'il faille la prendre nettement plus petite. Ceci conduit à multiplier inconsidérément le nombre de courbes pour n'en choisir que quelques unes dont le rapport signal sur bruit ne sera pas encore bien élevé. Ces courbes devront donc être additionnées par classe d'activité afin d'améliorer la qualité du signal. C'est finalement une sorte de compositage qu'il faut faire il semble donc que ce soit plutôt par le lissage préalable des images que ce type d'information doit être abordé.

7.4 Description du système de TVA .

La figure 47 schématise l'organisation et le fonctionnement du système de Traitement Visuel Amélioré.

Les données nécessaires aux traitements scientifiques sont : la télémesure brute de l'expérience, le temps universel, l'attitude et la position du satellite.

7.4.1. Constitution des fichiers sources du TVA. Télémesure brute du satellite.

La source d'information du TVA est la télémesure recueillie par les stations et principalement celle de Brétigny, via le système de transmission Eole. Cette télémesure est acquise (TVACQ) par un calculateur CDC 1700 et transférée sur commande au calculateur CDC 6600 qui la range dans un fichier temporaire constituant l'information de base du système TVA.

7.4.2. Acquisition.

L'ensemble des informations retransmises par le calculateur 1700 TD qui correspond à une réception en station est appelé flot. L'acquisition consiste à transférer un nouveau flot dans une partie du fichier "télémesure brute", à effectuer la recherche de synchronisation et la mise à jour des tables décrivant les flots présents dans ce fichier.

7.4.3. Fichier de télémesure brute.

Le fichier a, dans le vocabulaire CDC, une structure RANDOM. Chaque flot utilise un ou plusieurs index. L'emplacement du nouveau flot est déterminé à partir de trois critères :

- .éléments indexés libres
- .écrasement des anciens flots dans l'ordre chronologique
- .respect des flots "protégés" en cours d'utilisation.

Ce fichier est la source d'information de la partie "Traitements" du TVA.

La capacité de ce fichier, placé sur disques, est de l'ordre de 35 orbites complètes.

La panne de l'enregistreur magnétique du satellite (cf : § V.3.) a conduit à y introduire des flots durant une dizaine de formats au lieu d'une centaine. Il en a résulté une inadaptation du système qui a dû être revu en conséquence.

7.4.4. Données d'orbite.

Indépendamment de la télémesure du satellite, les moyens de localisation par interférométrie et effet Doppler fournissent par l'intermédiaire d'un programme, dérivé de POSAT, des prévisions d'orbite et la position du satellite en fonction du temps, au rythme d'un point toutes les quatre minutes.

Ces prévisions sont placées dans un fichier"Données d'orbite" (figure 47).

7.4.5. Datation.

Le Temps Universel n'apparait pas dans le flot des données. Il est donc nécessaire d'établir une relation entre l'horloge de bord du satellite,

qui engendre en particulier les numéros de format N , et le Temps Universel : TU . La précision recherchée, d'environ 10 millisecondes, est atteinte en utilisant une relation TU = aN + b , a et b étant des coefficients déterminés au cours des passages en vue de la station IRIS de Brétigny le satellite étant en émission lente de 128 bits par seconde.

Ces coefficients sont introduits dans le système TVA (TVA-DAT) sous forme de cartes perforées. La fréquence de leur remise à jour dépend de la stabilité de l'horloge embarquée.

7.4.6. Attitude.
Le programme TVA TT utilise les données des magnétomètres du satellite, un modèle du champ magnétique terrestre relativement simple et les données d'orbites prévisionnelles fournies par le programme POSAT.
Il effectue la restitution d'attitude du satellite sous forme analytique :

.direction visée par les expériences
.paramètres d'impact
.angle Satellite-Terre-Soleil etc...

7.4.7. Prétraitement du Traitement Visuel Amélioré.

1) TVA G.
Le programme TVA G rassemble, pour un flot retenu, les données de télémesure brute et celles qui lui sont fournies par les sous-programmes de datation, de calcul d'attitude et d'orbitographie.

Il exécute la gestion de cet ensemble et produit une table associant à chaque mesure toutes les informations qui lui sont relatives telles que le temps TU, les angles de visée et d'attitude, la position du satellite, etc...

2) TVA S.
A partir de la table ainsi constituée, TVA S exécute tous les programmes demandés pour une expérience déterminée.

Pour chacune d'elles, ces programmes comprennent :

.la mise en forme des visualisations
.une partie logique interprétant l'état de l'expérience et resynchronisant les diverses informations (mesures et status)
.une conversion de la télémesure en grandeurs interprétables (nombres de coups, voltages, degrés celsius...)
.les dispositifs de dialogue
.et enfin, les traitements scientifiques à proprement parler.

7.4.8. Exploitation du TVA par l'expérience Solaire.
Quelques cartes perforées font appeler par le calculateur CDC 6600 le programme TVA (RUDI). La présence ou l'absence de certaines cartes caractérise déjà le type de traitement qui va être entrepris (choix d'une ou plusieurs expériences, par exemple). La compilation étant terminée, la console de dialogue et son écran de visualisation sont rendus disponibles. La liste des flots de télémesure présents en mémoire apparaît

alors sur l'écran, avec les informations de temps associées : date et heures de début et de fin. L'expérimentateur choisit le flot qu'il désire à l'aide d'un "light-pen", ce qui entraîne la visualisation des numéros de format du flot désigné. La décision est alors prise de traiter l'intégralité du flot ou de fixer des limites, à moins que ne soit préférée une nouvelle visualisation des flots disponibles et un nouveau choix.

L'appel suivant fait apparaître les numéros des expériences, l'expérience Solaire est obtenue en pointant le numéro 3 à l'aide du light-pen.

Suit généralement le calcul de l'attitude, à moins qu'il n'ait été effectué immédiatement avant pour l'une quelconque des expériences. Puis les programmes s'enchaînent, ainsi que toute la partie préliminaire de TVA S.

Si l'expérience demandée n'était pas en fonctionnement au cours du flot demandé, l'annonce en est faite sur l'écran. Un autre flot peut alors être sélectionné. Si l'expérience fonctionne, la partie logique, synchronisation et conversion en grandeurs physiques, intervient automatiquement jusqu'à la recherche de l'image haute hydrogène du premier demi-format de jour.

Deux types de visualisation peuvent apparaître :

1) Si l'image est reconstituée, la visualisation est du type de celle représentée par la figure 48.

Le nom de la voie de mesure est annoncé, suivi d'un tableau représentant le champ de l'expérience. Les mesures brutes y sont portées en nombre de coups détectés dans les cases où elles sont supposées avoir été prélevées. Deux valeurs négatives, représentent un vecteur unitaire issu du centre du champ et orienté en direction du Nord Solaire. (Etant donné la définition que permet la grille cette indication est approximative).

Dans la case située en bas et à droite du champ apparait la mesure globale associée à l'image, dans la case du haut, à gauche, la valeur + 1, toutes les autres portent des zéros.

Sous la grille du champ sont indiqués tous les paramètres associés à l'image : date et conditions de mesure.

A partir de cette image tous les traitements décrits précédemment peuvent être initialisés au moyen du dispositif de dialogue. Seule l'élimination ou la correction de mesures sont évidemment manuelles et nécessitent la visualisation de toutes les images les unes après les autres.

Si ce type d'intervention n'est pas nécessaire les traitements peuvent s'effectuer sans nouvelle opération.

La visualisation peut également être reprise n demi-formatsplus loin.

2) Si l'image n'a pu être reconstituée, si le disque sélecteur est arrêté en position de mesure globale ou encore si l'expérience est en période de calibration interne, les mesures brutes, résonance et absorption d'un même canal, Hydrogène ou Deutérium, sont visualisées sur l'écran accompagnées des mêmes paramètres que dans le cas précédent.

Les données des quatre voies de mesure sont ainsi visualisées demi-format par demi-format à moins que l'ordre contraire soit donné.

A la fin du flot apparaissent les informations offrant la possibilité de "protéger" le flot qui vient d'être visualisé, de tracer des courbes au moyen du système Calcomp et enfin d'arrêter là le travail ou de poursuivre le traitement pour un autre flot.

7.4.9. Documents associés à la visualisation.
Le responsable scientifique de l'expérience désire le plus souvent garder une trace stable des travaux effectués ou des données brutes.

Pour cela, il dispose systématiquement d'un listing, il peut également faire appel au traceur Calcomp ou au dispositif Hard-Copy donnant des reproductions exactes des états de l'écran de visualisation choisis.

Dans le cas de l'expérience Solaire ce dernier moyen n'a presque jamais été utilisé. Ce procédé est coûteux, il demande une intervention humaine pour chaque image et ne se justifie que pour la reproduction de courbes nombreuses et précises. Par ailleurs les courbes tracées pour l'expérience Solaire ne sont constituées qu'après le passage complet d'un flot ou d'une partie de flot, puisqu'elles font appel à toutes ses données.

Elles seront donc représentées soit sur listing soit sur traceur Calcomp.

Les listings associés au Traitement Visuel Amélioré comportent plusieurs parties. Afin d'éviter des duplications inutiles certaines de ces parties peuvent être, soit éliminées, soit très réduites.

Le listing débute toujours par la liste des flots disponibles, le numéro du flot choisi et celui des formats qu'il comporte.

Il peut se poursuivre par les données du calcul d'attitude, les mesures brutes, les images brutes reconstituées, mises en place et orientées dans le champ, ainsi que les divers paramètres associés.

Peuvent également y figurer, l'état des matrices de calibration en vol, le calcul du centre des images, les images transférées dans une grille fixe et les courbes en fonction de l'effet Doppler qui en résultent, enfin les images lissées.

7.5 Conclusion.

La mise au point du TVA s'est avérée assez longue, en raison d'une trop grande imbrication des nombreux sous-programmes et des non moins nombreuses modifications demandées par les différents expérimentateurs ainsi que cela était prévu dès sa conception. La panne de l'enregistreur magnétique n'a pas simplifié les choses.

Ainsi conçu le TVA nécessite un volume de mémoires très important (136 000 mots de 60 bits) et, au début du traitement de chaque flot, des temps de compilation compris entre 10 et 40 minutes selon la priorité accordée au programme et la disponibilité des mémoires.

Ceci a rendu son utilisation déprimante en dehors des heures de faible encombrement du calculateur. Un système d'une plus grande souplesse a dû être mis au point pour le traitement des données de D2-A Polaire, il a également servi pour D2-A, dans certains cas.

Par contre les résultats obtenus sont, en ce qui concerne l'expérience Solaire, tout à fait satisfaisants.

8.- Traitement de Masse.

Le but du traitement de masse est de donner, à chaque expérimentateur, l'ensemble des informations provenant de son expérience qui ont pu être recueillies, afin de procéder à leur traitement systématique et à l'interprétation scientifique.

Ce traitement comporte plusieurs phases successives bien distinctes.

8.1 Collecte des données.

La télémesure enregistrée par les différentes stations d'écoute, est acheminée vers le Centre de Brétigny sous forme de bandes magnétiques analogiques. Sur chacune d'elles se trouve un certain nombre de flots recueillis par la même station. Pour une année de vie du satellite en orbite, environ 2000 bandes ont ainsi été centralisées à Brétigny.

8.2 Bande n° 1.

Cette masse de bandes magnétiques n'est pas directement exploitable pour des traitements évolués.

La télémesure est tout d'abord digitalisée et une base de temps lui est adjointe.

Les données de mauvaise qualité sont éliminées, après test, et il est effectué un choix parmi les informations redondantes.

Enfin ces données sont classées chronologiquement et transférées sur une suite de bandes dites "Bandes 1".

Il est évident que cette phase a été grandement compliquée par le morcellement des enregistrements, consécutif à la panne de l'enregistreur magnétique du satellite. Un compromis entre qualité et quantité a dû être fait, il permet de conserver environ 95% des données recueillies.

8.3 Bandes 2 mères.

Les bandes n° 1 ainsi générées peuvent être introduites dans le fichier du Traitement Visuel Amélioré pour subir les premières phases de ce traitement automatisé. Il s'agit en particulier d'ajouter les données d'attitude et de position calculées. Un module par expérience traite la

partie logique de chacune d'elles. Les résultats de ce prétraitement sont transcrits sur une suite de bandes dites "Bandes 2 Mères". Pour un flot de données continu, les expériences y sont séparées en autant de fichiers successifs.

Ces bandes servent également à sauvegarder l'information brute.

8.4 Bandes 2 Filles .

Les bandes 2 Mères sont relues quatre fois pour générer autant de "bandes 2 Filles", chacune étant propre à une expérience ou à un groupe d'expériences (REA - Polarisation).

Les informations y sont classées en ordre chronologique, mais le découpage en flots déterminé par les retransmissions de la télémesure est conservé.

Dans un but de contrôle des programmes de calcul, les informations contenues par ces bandes peuvent être listées.

Des courbes sont systématiquement tracées pour un certain nombre de paramètres en fonction du temps. Ce sont des courbes de température, de haute tension ainsi que certaines valeurs déduites des mesures obtenues au cours d'une orbite pour un angle Satellite-Terre-Soleil inférieur à 60° (mesures globales absorption, résonance à l'épaisseur optique nulle dans les cellules, résonance pure). Ces couches permettent de juger rapidement de l'état de l'expérience en fonction du temps.

8.5 Bandes 3 .

Les informations qui se trouvent sur les bandes 2 Filles Solaires sont tout d'abord regroupées par périodes d'ensoleillement des orbites. Celle-ci constituant l'unité de traitement des données, dans la plupart des cas. Une transposition des programmes du Traitement Visuel Amélioré automatisée est ensuite appliquée.

Les données sont classées en quatre grandes catégories selon le mode de fonctionnement de l'expérience : mesures globales associées aux images, images solaires, calibration et mesures disque sélecteur arrêté.

Dans chacune de ces catégories les données sont rangées dans des fichiers différents selon la voie de mesure et l'épaisseur optique de la cellule.

La recherche des images ayant été effectuée, le résultat en est donné, ainsi que leur orientation et la position de leur centre obtenue par les différentes méthodes de calcul.

Les mesures de balayage sont corrigées de l'effet de champ. Les mesures globales qui le nécessitent sont linéarisées. Ces bandes contiennent naturellement tous les paramètres d'attitude et d'orbitographie nécessaires ainsi que les données des senseurs solaires.

A chaque bande 3 est associée la publication d'un listing qui constitue un catalogue en résumant le contenu.

Les bandes 2 Filles contenant les données de 1971 et 1972 sont actuellement disponibles ainsi que les bandes 3 pour l'année 1971.

V.- Mise en orbite. Comportement en vol

1.- Choix des paramètres d'orbite et du créneau de tir

2.- La mise en orbite

3.- Comportement du satellite en vol. Incidents

4.- Bilan des opérations

5.- Performances du pointage

6.- Comportement de l'expérience
- 6.1 Mise en fonctionnement
- 6.2 Incidents de fonctionnements
- 6.3 Comportement des hautes tensions
- 6.4 Alignement

7.- Bilan de 21 mois de fonctionnement

8.- Comportement thermique

9.- Correction et qualité des mesures
- 9.1 Défaut de linéarité
- 9.2 Inhomogénéités du champ
- 9.3 Bruit électronique. Lumière parasite due aux filaments
- 9.4 Lumière parasite
- 9.5 Fonction d'appareil de la cellule à résonance hydrogène
- 9.6 Erreur causée par la présence d'hydrogène dans la cellule à deutérium
- 9.7 Sensibilité des mesures de résonance deutérium aux mouvements de la source
- 9.8 Perte de sensibilité

V.- Mise en orbite et comportement en vol.

1.- Choix des paramètres d'orbite et du créneau de tir.

Différentes raisons techniques ont obligé à reporter la date de tir du Satellite D2-A au 15 avril 1971. Cette date a été choisie en fonction des impératifs du planning et aussi en raison des conditions météorologiques guyanaises (fin du "petit été de mars").

Les paramètres d'orbite sont l'inclinaison du plan de l'orbite sur le plan de l'équateur, et les altitudes de périgée et d'apogée.
Les critères de choix sont de quatre types :

- .performances du lanceur pour une charge utile donnée
- .répartition géographique des stations de télémesure du CNES
- .intérêt scientifique
- .températures du satellite et des expériences à ne pas dépasser.

(a) Intérêt scientifique.-
Plus l'inclinaison est grande et plus les régions explorées sont largement réparties.

Une altitude trop basse est peu souhaitable pour certaines expériences, en particulier pour l'expérience Polarisation, la polarisation de la raie Lyman-Alpha géocoronale s'annulant si l'épaisseur optique devient trop forte.

Une altitude trop haute risque d'entraîner des perturbations de la mesure en raison des rayonnements (zones de Van Allen) voire même une dégradation de certains matériels.

Une orbite circulaire aurait l'avantage de placer les expériences dans des conditions de mesure directement comparables, tandis qu'une orbite elliptique permet d'explorer avec moins de précision, des régions d'altitudes différentes

En ce qui concerne le créneau de tir, c'est-à-dire les heures extrêmes entre lesquelles il est possible de procéder à la mise en orbite un jour donné, les expérimentateurs souhaitent que, peu de temps après le tir, le satellite passe à proximité de l'axe Terre-Soleil. Ce point constitue un alignement particulier et c'est dans cette configuration que les effets Doppler obtenus sont maximum (au midi solaire pour les expériences latérales et à 6 h et 18 h pour les expériences axiales).

Le nombre de jours J nécessaires pour atteindre cette disposition de l'orbite, après la date du tir, est donné par la relation :

$$J = (2 + H) \times 15/P$$

P étant la précession quotidienne de l'orbite en degré par rapport à la direction Terre-Soleil, soit environ 6° pour une inclinaison de l'orbite de 46°, et H l'heure solaire locale de la mise à feu (modulo 12).

Cette configuration se retrouve chaque fois que l'orbite a subi une précession de 180°, soit à intervalles de 30 jours.

Si l'orbite n'est pas circulaire, les résultats seront plus facilement interprétables lorsque les points de l'orbite symétriques par rapport à l'axe Terre-Soleil auront la même altitude, c'est-à-dire lorsque le périgée se trouvera soit au midi, soit au minuit solaire.

Lors de la première orbite, le périgée se trouve au point d'injection soit à environ 28° à l'est du point de lancement. La précession du périgée est par ailleurs d'un degré par jour vers l'ouest. Il en résulte que l'une des deux configurations sera obtenue J' jours après le lancement :

$$J' \text{ (modulo 180)} = H \times 15 + 28$$

H étant toujours l'heure solaire du tir.

Il faut remarquer que cette disposition d'orbite ne se retrouve ensuite que tous les six mois, ce qui conduit à choisir ce critère en priorité pour définir l'heure optimale de lancement. La formule précédente montre qu'un créneau de tir qui durerait une heure, autour de midi ou de minuit, conduirait à la configuration souhaitée entre 20 et 35 jours après le lancement.

(b) Couverture du réseau de télémesure CNES (figure 49).-
Le réseau comporte six stations :

BRETIGNY (Centre d'Opérations et de Traitement des données), LAS PALMAS (Canaries, liaison en temps réel avec Brétigny), OUAGADOUGOU (Haute Volta) BRAZZAVILLE, PRETORIA (Afrique du Sud) et KOUROU (Guyane Française - Site de lancement : 52° 44' Ouest, 5° 15' Nord).

Le tableau de la figure 50 montre que la couverture reste excellente (96%) pour les orbites inclinées de moins de 45°, puis qu'elle décroît très rapidement.

(c) Premières orbites.-
Pour la première mise en orbite d'un nouveau type de satellite, il est très important d'assurer une excellente couverture lors des premières orbites. En effet tout fonctionnement anormal de la séquence pyrotechnique automatique doit pouvoir être rapidement détecté et corrigé par l'envoi d'ordres de télécommande appropriés.

Après l'ouverture des panneaux solaires, le pointage du satellite en direction du soleil doit également être acquis sans délai. Le satellite dépointé n'étant pas alimenté en courant par les générateurs solaires, son autonomie sur batterie est limitée à trois jours.

Afin de se réserver la possibilité d'agir manuellement sur le pilotage en roulis et en attitude pendant la phase d'acquisition du pointage, il est nécessaire que les premiers passages sur les stations de Brétigny et des Canaries s'effectuent durant la phase ensoleillée de l'orbite. Ceci introduit une contrainte sur le créneau de tir, et l'inclinaison de l'orbite.

(d) Performances du lanceur.-
Ainsi que le fait apparaître la figure 50, le tir s'effectuant vers l'Est, les performances du lanceur sont optimales pour une orbite proche du plan de l'équateur, le supplément d'impulsion dû à la rotation de la Terre étant alors maximal.

Pour une charge utile donnée et un angle de tir imposé : la détermination de l'altitude du périgée entraîne celle de l'apogée et vice-versa.

Dans le cas où le périgée se trouve au point d'injection, son altitude est obtenue avec précision, tandis que l'incertitude sur les performances du lanceur conduit à une imprécision assez grande sur l'altitude de l'apogée. Ceci amène à choisir une altitude d'apogée assez élevée pour assurer le succès de la mise en orbite.

(e) Conditions thermiques.-
Ainsi qu'il a été dit plus haut (cf : § II.2.10.), les revêtements du satellite sont adaptés à une attitude correcte. La partie de la peau, normalement à l'ombre est émissive et donc absorbante, son éclairement prolongé, dû à un retard d'acquisition du pointage, provoquerait certainement un échauffement pouvant être dangereux, en particulier pour les expériences latérales.

Il est donc nécessaire d'imposer un temps d'ombre minimal de 25 à 30 minutes pour les premières orbites.

Il faut enfin rappeler que les orbites "plein soleil" ne sont pas souhaitables au début de la vie en orbite, toujours afin d'éviter une trop grande élévation des températures.

Enfin, il est préférable que le tir ait lieu en début de journée afin de ne pas exposer le lanceur aux grosses chaleurs de la journée. Celles-ci ont pour effet de réchauffer les ergols liquides et de provoquer leur débordement, ce qui entraîne une perte de performance du premier étage du lanceur.

(f) Conclusion.-
Toutes les conditions sont remplies le 15 avril 1971 pour un créneau de tir s'étendant de 7 h à 14 h en Temps Universel soit 4 h à 11 h, heure locale guyanaise. Les critères scientifiques sont en faveur de la fin de cette période.

Les altitudes choisies sont les suivantes :

.périgée (point d'injection) : 530 km
.apogée : 650 km

L'inclinaison sera de 46° sur le plan de l'équateur.

2.- La mise en orbite.

Pour des raisons météorologiques (plafond trop bas pour une poursuite optique suffisante avant l'accrochage des radars) la mise à feu a eu lieu le 15 avril 1971 à 9h 09 mn 37s (Temps Universel).

L'inclinaison obtenue est conforme à celle visée.
Les altitudes, elles, sont différentes de celles prévues :

.périgée : 455 km (latitude 30°221)
.apogée : 720 km

mais elles restent acceptables.

Période anomalistique : 96,23 minutes
Période nodale : 96,14 minutes
Précession du périgée : environ 1° par jour.

Déroulement du lancement (figures 51 et 52).

A partir de l'instant de la mise à feu, le fonctionnement du lanceur et du satellite ont été absolument normaux et automatiques. Lors du premier passage en visibilité des stations de Canaries et Brétigny l'acquisition du Soleil était pratiquement terminée, pour une consommation de gaz inférieure aux prévisions.

3.- Comportement du Satellite D2-A en orbite. Incidents.

Le 22 avril 1971, une semaine après le tir, le satellite a été pris en charge par le Centre d'Exploitation D2-A (CED). Les opérations de mise en route sont alors terminées.

Les couples perturbateurs étant très faibles, la logique de pilotage automatique en roulis peut être arrêtée ; la vitesse de rotation qui baisse lentement sera corrigée par télécommande environ une fois par mois.

Le premier incident et sans doute le plus grave s'est produit le 4 mai 1971 à 17 h 57 (TU) lors de la 289ème révolution : à la suite de la rupture d'une courroie d'entraînement l'enregistreur magnétique devient inutilisable. Cette panne, découverte grâce au TVI, réduit les données à celles obtenues en temps réel, en visibilité directe des stations. Il en résulte une perte considérable de données tant en qualité qu'en quantité et un fractionnement de la couverture ayant de graves conséquences pour le traitement de l'information.

Le 11 mai à zéro heure (TU) la NASA a mis à notre disposition les quatre stations d'ORORAL, ROSSMAN, ASCENSION et SANTIAGO. Ces stations accroissent la collecte des données de 6 à 8 passages par jour. Elles permettent de diversifier les régions observables et de former des alignements de stations intéressants (figure 49).

C'est également au début du mois de Mai 1971 qu'apparait l'instabilité d'une tension régulée. Ceci n'a pour effet que de faire disparaître une redondance (12 volts n° 2).

Dans la nuit du 27 au 28 octobre 1971, à la demande du groupe projet et avec l'accord des responsables scientifiques, a lieu une opération de ralentissement de la vitesse de roulis à un quart de tour par minute, puis son annulation. Cet essai s'est déroulé dans les meilleures conditions,

il a permis de vérifier que les couples perturbateurs sont minimes. Cela résulte en particulier d'un excellent équilibrage du satellite tant au point de vue inertiel que magnétique.

A la fin du mois d'octobre et à la mi-novembre 1971, apparaissent des montées de pression anormales dans la partie basse pression du système pneumatique. La première est corrigée par télécommande et la seconde disparaît spontanément.

Entre le 5 et le 10 décembre 1971, le satellite connait des premières orbites sans ombre. Après cette période de fort échauffement tous les paramètres retrouvent rapidement leur valeur nominale à une seule exception près : il est observé une baisse importante de la haute pression d'azote (0,6 bar par jour) accompagnée d'une accélération continue de la vitesse de roulis.

La période de rotation baisse d'une seconde et demie par jour. Une fuite d'électrovanne est recherchée, en isolant celles-ci une à une, par rotation télécommandée du commutateur.

En même temps des opérations de freinage sont effectuées pour ramener la période de rotation à une valeur voisine de la normale.

Le 8 février 1972, toutes les électrovannes ayant été éliminées comme cause possible de la fuite, la logique de pilotage en roulis est remise en marche. Ceci assure la correction automatique de la vitesse de rotation mais la fuite subsiste.

Alors que la consommation de gaz avait été minime pendant presque 8 mois, la moitié de la masse d'azote embarquée a été perdue pendant les 8 mois suivants. La figure 53 montre toutefois que l'importance de la fuite décroît en même temps que la pression.

Il faut également noter que le mode de fonctionnement "économique" choisi pour les expériences, une à trois révolutions par jour selon les cas, a eu pour conséquence de maintenir la batterie du satellite en charge maximale quasi permanente, ainsi qu'une dissipation électrique non prévue dans les ballasts et par conséquent des échauffements qu'il a été jugé préférable de limiter.

Dans le seul but d'augmenter la consommation électrique certaines expériences ont dû être mises en fonctionnement partiel de façon permanente.

En ce qui concerne l'expérience Solaire, la partie basse tension a fonctionné continûment sur programmeur Jour-Nuit depuis le 12 mai 1971 et l'expérience complète à partir du 22 juin 1971.

Enfin le 24 janvier 1973, alors que le satellite était en période "plein soleil", une décharge brutale de la batterie a provoqué la mise du satellite en fonctionnement de veille. Après l'arrêt de tous les équipements, le deuxième émetteur a été réanimé ainsi que les parties basse tension des expériences sans qu'apparaissent d'anomalies.

4.- Bilan des opérations effectuées.

La figure 54 résume les opérations effectuées pour le satellite D2-A.

Le tableau suivant donne quelques valeurs pour une année de fonctionnement.

Type d'activité	Nombre annuel	Moyenne quotidienne
Orbites	5480	15,01
Localisations du satellite	1920	5,26
Télécommandes envoyées	10850	29,73
Enregistrements effectués	5890	16,14
CVI	1985	5,43

Ces chiffres amènent plusieurs remarques.

1) Les opérations de télécommande ont été extrêmement nombreuses. Il est certain que la panne de l'enregistreur les a multipliées.

2) Pour 17 000 télécommandes envoyées, il n'a été relevé qu'une dizaine d'erreurs d'origines diverses. Aucune n'a eu de graves conséquences du point de vue de la conservation du satellite.

3) Le nombre d'enregistrements effectués diffère assez peu du nombre d'orbites accomplies. Cela signifie que la couverture en temps, après la panne de l'enregistreur, a été de l'ordre de 10%.

5.- Performances obtenues par le système de pointage.

Les données des senseurs solaires SS0 et SS1 permettent de suivre l'évolution du pointage du satellite en direction du Soleil avec une précision instantanée voisine d'une minute d'arc.

(a) Au cours d'une orbite la direction visée ne s'écarte généralement pas de plus de 7 minutes d'arc du centre du Soleil et la vitesse de dérive dépasse rarement 0,7 minute d'arc par seconde de temps.

A plus long terme le dépointage n'excède jamais 10 minutes d'arc.

Les performances du système de pilotage sont donc bien supérieures aux spécifications données lors de sa conception (cf : § II.2.9.).

(b) En tangage comme en lacet le zéro des mesures est décalé d'environ quatre minutes d'arc par rapport à la direction de visée moyenne.

La comparaison de ces données avec la position des images dans le champ de l'expérience Solaire, montre toutefois que cette position moyenne est confondue avec l'axe de l'expérience.

(c) Au moment des crépuscules, l'atténuation du flux solaire provoque une sous-estimation du dépointage mesuré. Cet effet dure une trentaine de secondes.

(d) La période d'acquisition du pointage, à la sortie de la nuit ne dépasse pas une minute.

(e) La variation de la période de rotation du satellite entre 50 et 70 secondes ne modifie pas sensiblement les performances du système de pointage.

(f) Le mouvement de la direction de visée résulte de la combinaison de la rotation du satellite avec une précession d'angle variable mais faible. La figure 55 indique deux types de figures décrites par l'image du soleil dans le champ de l'expérience.

6.- Comportement de l'expérience en vol.

6.1 Mise en fonctionnement.

Etant donné le fonctionnement parfait des différents sous-ensembles du satellite après la mise en orbite, les expériences ont pu être mises en marche selon le plan accéléré prévu.

Le 17 avril 1971 à 11 h 15.00 TU, il a été procédé à la mise sous tension de la partie basse tension de l'expérience Solaire (31ème révolution), puis à la mise en rotation du disque sélecteur qui a été arrêté après deux révolutions du satellite.

La visualisation en temps réel des différents paramètres a fait apparaître un fonctionnement tout à fait normal. La partie basse tension a donc été laissée alimentée jusqu'au lendemain 18 avril à 7 h 51, afin de contrôler son fonctionnement et de faciliter le dégazage. C'est donc lors de la 44ème révolution que le convertisseur haute tension Deutérium a été alimenté la première fois. Aucune anomalie n'étant mise en évidence le convertisseur haute tension Hydrogène a été alimenté à son tour lors de la 46ème révolution. L'expérience a ainsi fonctionné sur programmeur Jour-Nuit jusqu'à la 63ème révolution. Afin d'éviter une cause de vieillissement, à partir de cette date, il a été décidé de limiter le fonctionnemen de l'expérience Solaire à trois révolutions par jour en moyenne.

6.2 Incidents de fonctionnement.

(a) Le Traitement Visuel Immédiat a fait apparaître le 20 avril 1971 un niveau de comptage anormalement bas des voies de mesure Deutérium, au cours du format 6764. L'obturateur était bien ouvert et rien n'indiquait

l'origine de ce phénomène. Ceci se reproduisit le 23 avril (format 10725) puis le 24 avril. Cette fois la baisse de comptage était accompagnée d'une valeur de la haute tension Deutérium de 3890 volts ce qui correspond à la saturation du système de mesure analogique de cette tension. Cette anomalie qui est attribuée à des décharges se reproduit sporadiquement dans les jours suivants. Le 29 avril la fréquence du phénomène est devenue très importante, presque toutes les mesures de la voie Deutérium sont bruitées. Il est donc décidé d'arrêter complètement l'expérience pour permettre son dégazage sans mettre en danger les préamplificateurs de signal. Des remises sous tension sont effectuées périodiquement. Ce n'est que le 28 mai 1971 que le fonctionnement redevient normal. Par mesure de précaution l'expérience ne sera remise en fonctionnement de routine que le 15 juin 1971.

(b) Le 13 mai 1971 la durée de l'éclipse doit atteindre un minimum d'une dizaine de minutes. Déjà le 10 mai, la période de "nuit" n'est plus que de vingt minutes, au lieu de 35, et la température atteint 30°C au niveau des détecteurs et une cinquantaine de degrés au niveau des modules électroniques. A la mise sous tension de l'expérience (révolution 371) les mesures de résonance de la voie Hydrogène sont nulles. Cette voie de mesure est la première de celles que le commutateur retransmet en série aux mémoires magnétiques, (cf - Module compteur § II.6.4.(c)). Le transfert est commandé par une impulsion reçue du satellite, si cette impulsion est arrêtée la voie de mesure correspondante n'est plus lue. Ce phénomène avait déjà été observé sporadiquement au cours du vide-thermique du satellite complet. Il avait alors semblé passager et la température de 50°C avait été considérée comme ne devant pas être atteinte en orbite au cours des 6 premiers mois. Cette panne définitive fait perdre beaucoup de son intérêt à l'expérience. En effet la voie de résonance hydrogène était fondamentale tant au point de vue de ses résultats propres que de la possibilité qu'elle donnait d'interpréter les mesures de résonance deutérium bruitées par la présence d'hydrogène dans la cellule à Deutérium.

(c) Le micro-interrupteur qui contrôle la position de l'obturateur deutérium a pratiquement cessé de fonctionner le 19 novembre 1972 au cours d'une autre montée en température. Il a effectué à peu près 475 000 opérations à des températures élevées qui ont parfois dépassé 80°C.

La valeur des mesures prélevées sur cette voie n'indique aucun mauvais fonctionnement de l'obturateur lui-même.

6.3 Comportement des hautes tensions.

Après les décharges de haute tension observées sur la voie Deutérium au cours des deux premiers mois, rien d'anormal n'a été relevé. La haute tension Deutérium est restée parfaitement stable jusqu'au 24 janvier 1973, compte tenu d'une variation de quelques volts entre les conditions extrêmes de température.

Par contre les mesures analogiques de contrôle font apparaître une élévation lente de la haute tension Hydrogène de l'ordre de 40 volts par an.

6.4 Alignement des axes optiques par rapport à l'axe de rotation et à ceux des senseurs solaires.

L'axe optique de la voie Deutérium est parallèle à l'axe de rotation moyen du satellite à une minute d'arc près. Par contre l'axe optique de la voie Hydrogène est décalé de 18 minutes d'arc dans la direction :
- Tangage. Cette erreur est constante mais dépasse de 6 minutes celle qui avait été mesurée au laboratoire.

Bien qu'aucune évolution n'ait été détectée au sol après les essais en vide-thermique et en vibrations, il semble donc qu'une pièce optique se soit légèrement déplacée ou déformée entre les dernières mesures de calibration et la première mise en fonctionnement dans l'espace.

7.- Bilan de 21 mois de fonctionnement de l'expérience.

Durant la période de 21 mois qui sépare la mise en route de l'expérience le 18 avril 1971 et le 23 janvier 1973, le satellite D2-A a effectué 9750 révolutions autour de la Terre. La partie basse tension de l'expérience a été alimentée seule pendant 500 révolutions et l'ensemble de l'expérience pendant 8900 révolutions. Ceci correspond à environ 9000 heures d'observations solaires compte tenu des "nuits" pendant lesquelles le programmeur Jour-Nuit arrête son fonctionnement.

Le disque sélecteur a fait 35 millions de pas sans anomalie apparente, ce qui correspond à 540 000 images du Soleil pour chacune des voies de mesure. Du fait de la panne de l'enregistreur magnétique, c'est environ 18 000 d'entre elles qui ont pu être recueillies.

Les obturateurs ont été ouverts 540 000 fois et fermés autant de fois. A part le micro-interrupteur dont la défaillance a été signalée, trois micro-interrupteurs ont fonctionné aussi souvent que les obturateurs tandis que deux autres ont été actionnés deux fois plus souvent.

Il faut ajouter que l'expérience a fonctionné environ 500 heures pendant les essais au sol, ce qui correspond à environ 5% des chiffres qui viennent d'être donnés.

8.- Comportement thermique de l'expérience en vol.

La température est mesurée toutes les 64 secondes par deux thermistances situées dans les boitiers détecteurs au niveau des détecteurs à fenêtre latérale. Le pas de mesure est de 0,476° mais les variations observées étant généralement lentes, la fréquence de mesure permet d'obtenir une précision bien meilleure puisqu'il est possible de noter l'instant de passage d'un pas de mesure au suivant.

Les températures relevées dépendent de cinq facteurs :

1) la durée de la phase d'éclipse des orbites
2) l'alternance Jour-Nuit
3) le mode de fonctionnement de l'expérience
4) l'état de fonctionnement du reste du satellite
5) le vieillissement des revêtements du satellite et des composants.

8.1 Effet de la durée de la nuit.

La durée de la portion d'orbite non éclairée par le Soleil varie entre un maximum de 36 minutes et un minimum pouvant être nul pendant plusieurs jours. La pseudo-périodicité de cette variation est de 29,7jours ce qui correspond à une précession du plan de l'orbite de 6,06 degrés par jour, par rapport à la direction Terre-Soleil.

La figure 56 qui représente la durée de la nuit et la température du boitier détecteur hydrogène, en fonction du temps fait clairement apparaître le lien qui existe entre ces deux grandeurs.

Au niveau des détecteurs en fonctionnement, la température d'équilibre varie à peu près de + 29°C pour la durée d'éclipse maximale à + 60°C dans le cas des orbites plein soleil.

La température relevée au niveau du boitier détecteur hydrogène, sur l'axe du tube, est systématiquement inférieure de 0,75°, à celle mesurée dans le boitier détecteur deutérium. La plus basse température a été observée le 25 avril 1971 à la mise sous tension de l'expérience, elle était de 17,2°C.

8.2 Effet de l'alternance Jour-Nuit.

En ce qui concerne l'expérience Solaire, cette alternance coïncide avec le cycle de fonctionnement, si bien que ces deux effets sont difficilement discernables. Il semble toutefois que l'on puisse considérer que, même dans le cas des éclipses les plus longues (36 minutes) cet effet d'alternance Jour-Nuit soit négligeable au niveau des détecteurs, et pour toute la partie inférieure de l'expérience Solaire.

Par contre, conformément à ce que laissait prévoir le modèle thermique du satellite la partie supérieure de l'expérience et notamment les obturateurs et les senseurs solaires, voient leur température varier d'une vingtaine de degrés entre le début et la fin de chaque période d'ensoleillement, lorsque celle-ci est minimale (60 minutes). Il en est de même pour les modules électroniques.

8.3 Effet du fonctionnement de l'expérience.

Lorsque l'expérience fonctionne, il en résulte une dissipation de puissance, notamment à proximité des thermistances. L'énergie moyenne consommée par chaque cellule et chaque convertisseur haute tension est de 250 milliwatts. Il en résulte un échauffement qui peut être mis en évidence lorsque l'un des boitiers détecteurs n'est pas alimenté. Si le fonctionnement d'un seul boitier n'entraînait pas de modification thermique, l'écart systématique de 0,75° serait conservé, or il apparait un écart supplémentaire de 3° en valeur absolue. Ainsi si le boitier détecteur hydrogène est le seul à être alimenté, sa température dépasse de 2,25° celle qui est relevée dans le boitier deutérium.

D'une façon générale après un arrêt de 12 heures de l'expérience, la température ne dépend plus que du cycle d'ensoleillement.

A la mise sous tension de l'expérience, après un arrêt de cette durée, la température croît rapidement de 0,12° par minute, puis de plus en plus lentement. Après six révolutions de fonctionnement consécutives (10 heures) il s'établit un équilibre pour lequel l'échauffement de 1,5° provoqué par le rayonnement solaire et le fonctionnement est compensé par un refroidissement nocturne égal (figure 57). L'écart de température relevé entre ces deux équilibres, expérience inerte et alimentée, est voisin de 7°.

Il existe donc un écart de 4° entre l'élévation de température de 7° due au fonctionnement de l'ensemble de l'expérience et la différence de 3° relevée lorsqu'une seule voie de mesure est sous tension.

L'alimentation de la partie basse tension de l'expérience provoque, à elle seule une élévation de température de 3,5°. Aucune dissipation importante n'intervenant alors au niveau des détecteurs, il semble que cette différence soit due à la dissipation de 10 milliwatts dans une résistance faisant partie du système de mesure de température, les connections électriques servant de conducteurs thermiques. Cela signifie que les valeurs mesurées dans le vide sont systématiquement surestimées de 3,5° par rapport aux étalonnages effectués à la pression atmosphérique.

Il reste à expliquer la cause d'une élévation de température d'un demi degré. Il est vraisemblable que le fonctionnement d'un boitier détecteur élève en réalité sa température de 3,5° et celle de son voisin inerte de 0,5°.

8.4 Effet de l'état de fonctionnement du reste du satellite.

A quelques courtes exceptions près, l'expérience Solaire a fonctionné continûment sous les ordres du programmeur Jour-Nuit à partir du 22 juin 1971. Les variations de température observées, à court terme, après cette date, ne peuvent pas s'expliquer par les seules alternances Jour-Nuit. Il est donc certain que l'état de fonctionnement du satellite et plus particulièremer des autres expériences réagit sur l'équilibre thermique général.

Ces variations ne dépassent pas 1°.

8.5 Variations à long terme.

Indépendemment des variations thermiques qui viennent d'être exposées, la figure 56 fait apparaître une évolution à long terme des températures.

Si l'expérience fonctionne de façon continue, les points de mesure sont comparables lorsque la durée de nuit est maximale.

Dans ces conditions, la température de l'expérience passe de 24° à 29° au cours des neuf premiers mois, puis elle se stabilise à cette dernière valeur pendant 8 mois, enfin la température s'élève à nouveau.

9.- Correction des mesures. Qualité des mesures.

Les mesures brutes de l'expérience, retransmises par la télémesure, doivent subir des corrections avant d'être interprétées.

Dans le cas le plus simple, ces corrections sont systématiques. Dans d'autres cas elles sont déduites de certaines mesures ou font appel à des lois établies au laboratoire ou en vol.

Les corrections doivent être appliquées dans un ordre précis, c'est celui dans lequel elles vont être présentées.

9.1 Défaut de linéarité.

Pour une tension donnée, appliquée aux détecteurs, un seuil de discrimination fixé, le défaut de linéarité des chaînes de comptage ne dépend que du flux incident.

Les lois de correction ont été établies au laboratoire de la façon qui a été décrite au paragraphe III.3.13.6. Pour chaque voie de mesure, elles font correspondre à chaque niveau de comptage l'amplitude de la correction (figure 34).

La correction du défaut de linéarité est effectuée systématiquement au cours du T.V.A. et du Traitement de Masse.

9.2 Inhomogénéités du champ.

Le TVA a permis d'établir, sous forme de matrices, des cartes de transmission relatives du champ de l'expérience pour les différentes voies de mesure (cf : § IV.7.3.5.).

Après la reconstitution des images brutes, les mesures élémentaires sont systématiquement corrigées de cet effet, aussi bien pendant le TVA, ainsi que cela a été dit au chapitre IV.7.3.6., qu'au cours du Traitement de Masse.

La validité dans le temps de ces lois de correction, établies à partir des données du 18 au 23 avril 1971, devra être vérifiée à l'aide des données brutes rassemblées par le Traitement de Masse.

9.3 Bruit électronique. Lumière parasite due aux filaments des cellules.

Le système de comptage introduit systématiquement un coup parasite par mesure.

Les mesures obtenues au cours des séquences de calibration en vol et au voisinage des crépuscules montrent que le bruit d'obscurité des détecteurs, plus la lumière parasite due aux filaments des cellules, lorsqu'ils sont chauffés, ne dépassent jamais deux coups par mesure.

Cette erreur est toujours négligeable par rapport au niveau de comptage des mesures intégrées sur l'ensemble du disque solaire.

Ce bruit est systématiquement retranché des mesures par point.

9.4 Lumière parasite.

1) Mesures de résonance :

Lorsque les filaments des cellules sont éteints, les signaux détectés

par les photomultiplicateurs latéraux correspondent à la lumière parasite qui doit être retranchée des mesures prélevées aux différents états de chauffage, non nuls, des filaments.

Cette correction ne s'effectue pas de la même manière pour les mesures par points et pour les mesures intégrées sur l'ensemble du champ.

(a) Mesures de résonance intégrées.-
Le nombre de coups de bruit que comprend une mesure de résonance, filaments chauffés, est déterminé par interpolation entre les mesures obtenues à l'épaisseur optique nulle. Il est ensuite soustrait à ces mesures de résonance.

Les courbes des figures 58 et 59 représentent, pour une révolution du satellite autour de la Terre, le signal détecté en résonance à l'épaisseur optique nulle et les signaux de résonance pure, après soustraction de cette lumière parasite.

Chaque point de ces courbes est la moyenne des 48 mesures intégrées qui remplacent les séquences de balayage du champ lorsque le disque sélecteur est arrêté.

Le signal de résonance ainsi corrigé n'est pratiquement pas bruité.

Le rapport signal sur bruit est supérieur à 50 pour la voie Hydrogène, il est de l'ordre de 20 et 10 respectivement pour les états de chauffage forts et faibles de la voie Deutérium.

Ceci indique que, dans la plupart des cas, la mesure de lumière parasite est précise et que l'effet de l'attitude du satellite sur la sensibilité est faible, dans ce cas.

L'intensité de la lumière parasite est relativement stable au cours de l'orbite, mais elle présente tout de même des fluctuations de $\pm$ 13% pour la voie Hydrogène et de $\pm$ 20% pour la voie Deutérium, liées aux variations de l'attitude du satellite.

Bien que ces fluctuations ne soient pas rapides, toute perte de mesures à l'épaisseur optique nulle, due à une séquence de calibration en vol ou à une interruption de la télémesure (panne de l'enregistreur magnétique) introduit une imprécision de la correction des mesures voisines par l'impossibilité qu'elle entraîne d'effectuer une interpolation précise.

(b) Mesures de résonance par points.-
Entre deux séquences de balayage, l'image du Soleil se déplace dans le champ de l'expérience et tourne sur elle-même. Il en résulte que le découpage de l'image n'est jamais identique.

Il n'est donc pas possible de procéder directement à la soustraction de la lumière parasite, point par point, dans les images brutes.

Le programme de TVA décrit au chapitre IV.7.3.8. permet de réorienter les images les unes par rapport aux autres, et de les transposer dans une même grille. Les résultats obtenus par ce traitement montrent que la lumière parasite mesurée sur une surface élémentaire de 5 minutes d'arc de côté, ainsi reconstituée, varie assez rapidement d'un facteur pouvant atteindre 4.

Après soustraction de la lumière parasite, le rapport signal sur bruit reste très petit. Il est compris entre 1 et 3 selon les voies de mesure.

Il est par conséquent absolument nécessaire de lisser les images, par le compositage, de façon à augmenter la précision des mesures.

Les images de lumière parasite obtenues par ce procédé sont ensuite déduites, point par point, des images associées aux différents états de chauffage, non nuls, des filaments.

Le rapport signal sur bruit des cartes de résonance pure qui résultent de cette série de traitements est plus grand que 10, lorsqu'ils sont appliqués aux données d'une orbite complète.

2) Mesures d'absorption :

Dans le cas des mesures en absorption, il n'est pas possible de mesurer directement la partie du signal qui correspond à d'autres longueurs d'onde que celle de la raie Lyman Alpha.

La proportion du flux parasite peut toutefois être évaluée au voisinage des crépuscules et l'étude des images permet de déterminer la répartition de cette lumière dans le champ de l'expérience.

(a) Mesures intégrées.-

Les mesures crépusculaires, effectuées sur l'ensemble du champ de l'expérience montrent que l'extinction du signal détecté par les différentes voies de mesure n'est pas simultanée (cf : § VI.2.3.).

Il apparait en particulier qu'au moment où le flux mesuré par les voies de résonance s'annule, les voies d'absorption continuent à détecter un signal important. Ce flux ne peut pas être dû à la raie Lyman Alpha alors totalement absorbée. Il représente donc une valeur minimale de la lumière parasite que comporte le signal absorption en dehors des crépuscules (figure 71).

Au cours des premiers jours de fonctionnement, cette proportion atteint 55% pour la voie absorption hydrogène et 30% pour la voie absorption deutérium.

(b) Mesures par points.-

La partie utile du champ étant plus faible dans le cas de son exploration par point, la proportion de lumière parasite est plus faible dans les images que pour l'ensemble du champ.

Ainsi le 21 avril 1971, la lumière parasite ne représente que 20% du flux mesuré dans les images en absorption deutérium. Les trente pour-cent de lumière parasite des mesures intégrées se répartissent donc en 12,6% à l'extérieur de l'image et 17,4% dans l'image.

La répartition de la lumière parasite est moins favorable pour les images provenant de la voie absorption hydrogène. Celle-ci est également répartie entre l'intérieur et l'extérieur de l'image. Les 28% du signal intégré qui correspondent à la lumière étrangère à Lyman Alpha contenue dans les images, représentent 38% du signal de celles-ci.

La différence de répartition de la lumière parasite, entre l'intérieur et l'extérieur des images, pour les deux voies d'absorption s'explique par une différence de longueur d'onde de ces flux parasites. La bande passante est limitée vers les courtes longueurs d'onde par la transmission des fenêtres en fluorure de lithium et l'efficacité des détecteurs. La transmission des grandes longueurs d'onde est limitée par la dispersion des réseaux et les dimensions du champ. Dans le cas de la voie hydrogène, l'image se trouve décalée, précisément dans la direction de dispersion des grandes longueurs d'onde par rapport au centre du champ. Il en résulte que la bande passante correspondant à cette voie est plus étroite que celle de la voie absorption deutérium (figure 41).

La lumière parasite ne peut être évaluée pour chaque point des images. Il n'est donc pas question d'effectuer une correction des images brutes.

Mais la dispersion des différentes longueurs d'onde que provoque les réseaux se fait dans une direction fixe, tandis que l'image tourne sur elle-même dans le champ à la même vitesse que le satellite autour de son axe. A moins qu'elle ne soit uniforme, la répartition de la lumière parasite dans les images évolue donc dans le temps. Le programme de lissage, qui utilise des images orientées dans toutes les directions par rapport à celle de la dispersion, tend ainsi à uniformiser le taux de lumière parasite dans les cartes. Pour un nombre de compositages suffisant, la lumière parasite peut être considérée comme un fond continu.

(c) Les fluctuations importantes, 65% pour l'absorption hydrogène et 30% pour l'absorption deutérium, observées sur ces signaux pendant la phase Jour du satellite présentent une périodicité qui est en excellente corrélation avec les variations d'attitude du satellite. Ces fluctuations sont donc en grande partie dues à celles de la limite supérieure de la bande passante, c'est-à-dire à de la lumière parasite. Il est toutefois certain qu'en ce qui concerne le canal hydrogène, l'inhomogénéité de transmission du champ à la longueur d'onde de Lyman Alpha intervient également.

Ces fluctuations, autant que le taux de lumière parasite, rendent inobservable l'effet de l'absorption géocoronale sur l'intensité totale de la raie Lyman Alpha.

(d) L'étude des vieillissements du paragraphe V.9.8. montre, par ailleurs, que la proportion de lumière parasite des signaux détectés par les voies de mesure absorption évolue dans le temps dans le sens d'une augmentation.

3) Comparaison du taux de lumière parasite entre les voies résonance, à l'épaisseur optique nulle, et les voies d'absorption :
Aux crépuscules, l'extinction du signal détecté en résonance, pour une épaisseur optique nulle, est pratiquement synchrone de celle du signal de résonance pure (figure 71).

Ceci indique que cette lumière parasite est presque entièrement due à la raie Lyman-Alpha. Les images bien délimitées et présentant de forts contrastes le confirment.

La quantité de lumière parasite présente dans l'image Lyman Alpha ainsi obtenue est de l'ordre de 6% et 15%, respectivement, pour les voies de résonance deutérium et hydrogène à l'épaisseur optique nulle. Elle est donc bien inférieure à celle qui se trouve dans les images provenant des voies absorption.

Ces mesures de résonance à l'épaisseur optique nulle, donnent des niveaux de comptage faibles, mais l'incertitude sur la valeur mesurée qui en résulte est bien diminuée par le compositage.

9.5 Fonction d'appareil de la cellule à résonance hydrogène.

La bande passante de la cellule à hydrogène utilisée en résonance n'est pas très étroite par rapport au puits d'absorption géocoronal de la raie solaire.

(a) Pour un décalage Doppler voisin de 20 milliangströms le profil observé peut être considéré comme linéaire sur la largeur de la bande passante. Par conséquent, la mesure est proportionnelle à l'intensité incidente à la longueur d'onde du centre de la bande passante (figure 60) et, en première approximation, les valeurs mesurées pour les différents états de chauffage des filaments sont proportionnelles aux bandes passantes correspondantes.

Ainsi la bande passante obtenue par le chauffage de quatre filaments est une fois et demie plus large que celle qui est associée au chauffage de deux filaments, soit respectivement : 15 et 10 milliangströms.

(b) Au voisinage de l'effet Doppler nul (figure 61), la mesure n'est plus proportionnelle à l'intensité au centre de la raie mais au produit de convolution du profil de la raie incidente et de la bande passante. Le profil concave du fond du puits géocoronal provoque une surestimation d'autant plus forte que la raie est plus renversée et que la bande passante est plus large.

Ainsi le 27 avril 1971, lors de la révolution 178, l'erreur commise atteint 16% lorsque deux filaments sont chauffés et 22,5% lorsque trois ou quatre filaments le sont.

Le 22 avril 1971, la raie étant moins renversée les corrections à appliquer n'atteignent que 5% et 8,5% du signal mesuré, pour les mêmes états des filaments.

9.6 Erreur causée par la présence d'hydrogène dans la cellule à deutérium.

L'absorption de la raie Lyman Alpha solaire par les atomes d'hydrogène géocoronal provoque une variation du signal détecté en résonance hydrogène pure. Au cours d'une orbite cette variation atteint un facteur compris entre 3 et 7 selon l'activité solaire (figure 62).

Les mesures effectuées dans l'aile bleue de la raie Lyman Alpha par la voie de résonance deutérium ne sont pas modifiées par l'absorption du deutérium géocoronal dont la densité peut être considérée comme négligeable pendant la plus grande partie de l'orbite.

Par contre l'hydrogène qui n'a pu être éliminé de la cuve à deutérium, produit un signal variable qui doit être retranché de la mesure.

La calibration relative des deux voies de résonance, hydrogène et deutérium, et la proportion d'hydrogène présent dans la cuve à deutérium ont pu évoluer entre l'instant des mesures au sol et la mise en orbite et il est certain que la perte de sensibilité en vol n'est pas la même pour ces deux voies de mesure. Il est donc nécessaire de redéterminer l'amplitude des corrections en vol.

(a) Principe.-
Il faut soustraire, point par point, aux mesures provenant de la voie de résonance deutérium, un signal qui soit proportionnel aux mesures de résonance hydrogène, ceci à effet Doppler constant.

La figure 63 représente les mesures corrigées, prélevées simultanément sur les deux voies de résonance. Il est possible d'admettre, en première approximation, qu'étant donné la faible amplitude du décalage Doppler obtenu au cours d'une révolution, le profil observé, dans l'aile de la raie Lyman Alpha, est une fonction linéaire de la longueur d'onde.

L'amplitude de la correction est donc déterminée par les deux conditions suivantes :

.à chaque longueur d'onde, la correction est proportionnelle au flux mesuré en résonance hydrogène,

.le profil de l'aile bleue de la raie Lyman Alpha solaire est linéaire dans le domaine de longueur d'onde considéré de 50 milliangströms.

(b) Amplitude des corrections ainsi obtenues.-
Dans le cas de la figure 63, c'est-à-dire le 22 avril 1971, il doit être soustrait au signal mesuré par la voie de résonance deutérium :

.0,6% du signal hydrogène résonnant correspondant lorsque deux filaments de la cuve à deutérium sont chauffés,

.4% de ce signal lorsque 3 ou 4 filaments sont chauffés.

Ceci correspond à 60 coups sur 870 coups au centre du balayage Doppler, à 175 coups sur 860 et 170 sur 1150 pour les corrections extrêmales.

Il résulte de ces corrections qu'entre 1215,306 et 1215,360 Å, la variation d'intensité représente 36% de l'intensité mesurée au milieu de cet intervalle.

9.7 Sensibilité des mesures de résonance deutérium aux mouvements de la source.

Il faut remarquer qu'à une date donnée, l'intensité de la raie solaire en son centre peut être considérée comme une fonction indépendante de la longueur d'onde avant qu'elle ne soit absorbée par l'hydrogène géocoronal.* Ceci rend les mesures de résonance hydrogène peu sensibles aux mouvements de la source, qu'ils soient localisés dans la chromosphère ou liés à la rotation du soleil.

* (Dans la bande passante de 50 milliangströms considérée).

Par contre la pente de l'aile à la longueur d'onde de résonance du deutérium rend ces mesures très sensibles aux mouvements de la source. Ainsi la rotation du soleil autour de son axe provoque un mouvement de la source le long de la ligne de visée. Il en résulte un décalage Doppler dont l'amplitude maximale est de 8,4 milliangströms et de signes opposés aux bords du disque solaire Est et Ouest.

En supposant que le soleil soit calme et son émissivité uniforme ceci conduit, compte tenu d'une pente de 36% sur 54 milliangströms, à une surestimation systématique de l'intensité du bord équatorial Est de 11,2% par rapport à l'intensité du bord équatorial Ouest.

Il devra donc être tenu compte de cet effet pour l'étude des cartes solaires obtenues dans l'aile de la raie Lyman Alpha.

La figure 64 donne l'amplitude des corrections à appliquer en chaque point des images résultant du compositage.

9.8 Perte de sensibilité.

1) Introduction.

Les mesures effectuées en vol avec la lampe de calibration sont inexploitables car le niveau de comptage ne dépasse que très rarement six coups.

La perte de sensibilité des différentes voies de mesure n'est donc observable, avec précision, qu'à partir des mesures solaires en orbite. Pour tout ce qui suit ce sont les mesures prélevées sur l'ensemble du disque solaire qui ont été exploitées et plus particulièrement les visualisations associées au Traitement de Masse (cf : § IV.8.4.).

En ce qui concerne les niveaux de lumière parasite, ces informations sont complétées par les mesures obtenues aux crépuscules (cf : § VI.2.3.) et par celles qui sont effectuées en dehors des images au cours des séquences de balayage.

L'indice d'activité solaire considéré est le flux à 2800 MHz normalisé à une unité astronomique (Solar Geophysical Data).

2) Les données.

Les mesures que donne l'expérience sont représentées en fonction du temps par les courbes de la figure 65, telles qu'elles sont issues du Traitement de Masse.

Ces courbes sont à comparer à celles du flux solaire à 2800 MHz et de la température de l'expérience qui y figurent également, avec les conditions de mesure. Plusieurs constatations en découlent directement :

(a) Dès le début du fonctionnement en vol, l'évolution moyenne de tous les taux de comptage est de baisser, plus ou moins fortement.

(b) Les signaux provenant des voies Deutérium décroissent brutalement, de façon en partie réversible, au moment des claquages de haute tension. Ce phénomène semble plus important sur la voie résonance que sur la voie absorption.

(c) Quelle que soit la voie de mesure considérée, le vieillissement commence, en général, par être rapide, alors que l'expérience fonctionne relativement peu, puis la décroissance du signal moyen se ralentit.

(d) Pour toutes les voies de mesure, exception faite de la résonance hydrogène pour laquelle les mesures manquent, le début de l'évolution se caractérise par de fortes oscillations du signal détecté.

Les valeurs maximales coïncident avec les maximums d'activité solaire, les mesures minimales avec de grandes valeurs de l'angle de dépression solaire, donc de la température, puisque ceci provoque également un raccourcissement de la durée de nuit de chaque révolution.

La perte de sensibilité réelle ne peut être évaluée qu'en éliminant ces variations des conditions de mesure ainsi que les fluctuations dues à l'attitude du satellite.

(e) Il faut enfin remarquer que les mesures de la voie absorption deutérium pour laquelle le rapport signal sur bruit est élevé, cesse de varier en fonction de l'activité solaire dès le 4ème mois.

3) Données lissées.

Les courbes de la figure 66 résument l'évolution de la transmission dans le temps pour les quatre voies de mesure dont le fonctionnement n'a pas été interrompu, ceci indépendemment des conditions de mesure.

En ce qui concerne les voies deutérium, les valeurs indiquées pour la période de décharge de la haute tension sont des interpolations qui éliminent l'effet de ces anomalies sur le taux de comptage.

Il n'est pas possible d'obtenir directement de telles courbes pour la voie de résonance hydrogène à partir des mesures brutes. En effet ces mesures sont, plus que toute autre, sensibles aux conditions de mesure et trois semaines de fonctionnement ne permettent pas de retrouver des conditions comparables entre elles.

Le comportement des mesures brutes est toutefois très voisin de celui des mesures de résonance deutérium pendant la même période.

Comme pour les autres voies de mesure, la loi de vieillissement qui permettra de corriger les données sera déterminée de façon précise à partir des niveaux de comptage obtenus sur les régions calmes du soleil, après compositage des images brutes correspondant à des angles Satellite-Terre-Soleil faibles.

.quelle que soit l'épaisseur optique, lumière parasite ou résonance pure, les voies de résonance évoluent de façon semblable au cours des 21 mois considérés. La perte de sensibilité est d'abord brutale puis plus lente et quasi linéaire.

.les signaux moyens détectés par les deux voies absorption suivent une évolution d'allure exponentielle, bien que des paliers semblent y apparaître. Ceci les distingue de ceux des voies de résonance, surtout après le deuxième mois de fonctionnement en orbite.

4) Il faut rechercher l'explication de ces résultats dans deux faits :

.la bande passante n'est pas la même pour les différentes voies de mesure,

.les systèmes optiques résonance et absorption ne se distinguent que par la présence d'une lentille de champ sur ces derniers et l'utilisation de détecteurs de types différents.

(a) La voie absorption hydrogène qui évolue moins rapidement que la voie absorption deutérium comporte un taux de lumière parasite presque double (55/30). Il faut noter aussi, qu'après cent jours de fonctionnement le rapport de la sensibilité de ces voies (normalisée vis à vis de la sensibilité initiale) 53/34, est pratiquement égal à celui de ces lumières parasites, et que, par ailleurs, à ce stade, les mesures ne sont pratiquemen plus sensibles à l'activité solaire.

Tout se passe donc comme si la perte de sensibilité observée au cours de cette période, correspondait à une absorption préférentielle des courtes longueurs d'ondes et en particulier de la raie Lyman Alpha.

(b) Au cinquantième jour, la sensibilité de la voie résonance deutérium a baissé dans les mêmes proportions pour tous les états filaments, résonance pure et lumière parasite.

Ceci semble indiquer que le rendement de résonance de la cellule à deutérium n'a pas varié, au moins jusqu'à cette date.

(c) Toujours à cette date, la perte de sensibilité détectée, est la même pour les voies absorption et résonance (44%). Si le vieillissement n'était dû qu'aux éléments optiques communs à ces deux voies (réseau, miroirs et fenêtre d'entrée de la cellule), il faudrait admettre que les grandes longueurs d'onde responsables d'une partie du signal absorption sont atténuées dans les mêmes proportions que la raie Lyman Alpha, ce qui serait en contradiction avec ce qui a été déduit du comportement comparé des deux voies absorption.

Il semble donc, qu'en plus de cette atténuation commune aux deux voies, il s'en produit une autre sur la voie absorption qui ne peut être due qu'à ses éléments propres : fenêtre de sortie de la cellule, lentille atténuatrice ou détecteur. La suite de l'évolution qui est plus rapide pour l'absorption que pour la résonance le confirme. Le fait qu'après ce cinquantième jour, l'intensité de la résonance deutérium pure décroisse légèrement plus vite que la lumière parasite correspondante qui comporte des longueurs d'onde supérieures est une autre preuve de la sélectivité du vieillissement, au moins à son début.

5) Conclusions.

Des dégradations du même genre, ont été observées sur les autres expériences de D2-A étudiant la raie Lyman Alpha. L'expérience Polarisation qui est la seule à ne pas utiliser de cellules à résonance, se comporte de façon analogue. L'expérience H Alpha sensible à la lumière visible n'évolue pas. De même, les expériences sensibles à Lyman Alpha, placées par le laboratoire à bord d'OSO V et OGO V n'ont subi aucune dégradation importante.

L'étude de ces phénomènes a été entreprise en collaboration avec le Département d'Etudes et de Recherches en Technologie Spatiale de l'ONERA et a déjà fait l'objet d'un rapport (J. Bourrieau et M. Romero, Janvier 1972).

Les conclusions qui peuvent être tirées de l'analyse de ces données sont les suivantes :

(a) Miroirs et réseaux.-

.une dégradation en surface, sous l'action de protons à basse énergie, des optiques d'entrée nécessite des flux de 10^{16} à 10^{17} protons/cm^2. Ces doses sont beaucoup trop élevées pour que cette hypothèse soit retenue.

.un vieillissement spontané des traitements des miroirs et réseaux, s'il devait se produire, interviendrait bien avant la mise en orbite.

.une pollution des surfaces optiques par dégazage peut éventuellement être invoquée, bien qu'il soit peu probable d'obtenir une bande d'absorption vers 1216 Å. La durée du vieillissement et les amplitudes différentes sur les voies de mesures élimine cette explication, comme cause principale des pertes de sensibilité.

(b) Détecteurs.-

.les essais en vide thermique ont fait apparaître une évolution, non totalement réversible du taux de comptage lors des cyclages thermiques. L'évolution des photocathodes soumises aux bombardements est mal connue. Il est certain qu'il existe un vieillissement spontané.

.une dégradation du gain des multiplicateurs serait plus marquée pour les grandes longueurs d'onde, en raison de la présence d'un seuil de discrimination.

(c) Cellules. Lentilles.-

.la pollution intérieure des fenêtres des cellules par évaporation des filaments de tungstène serait d'un effet identique pour toutes les longueurs d'onde.

.le rendement de résonance des cellules ne semble pas évoluer fortement dans le temps. Si cela était le cas l'évolution serait nettement différente pour les flux parasites et de résonance pure, ce qui n'est pas observé. Une baisse du rendement de résonance ne peut en aucun cas expliquer le vieillissement constaté sur les voies absorption.

.le flux de particules chargées atteignant les fenêtres des cellules ne peut dépasser 5.10^8 électrons/cm^2/jour et 3.10^8 protons/cm^2/jour, sans tenir compte des structures et composants formant écran. Ces flux sont beaucoup trop faibles pour être à l'origine d'un pic d'absorption expliquant les pertes de sensibilité.

.par contre J.M. Schulman et W.D. Compton (1963) d'une part, et P. Warneck d'autre part, ont décrit un mécanisme de dégradation faisant intervenir les impuretés présentes dans les cristaux de fluorure de lithium. Ainsi, l'ion hydrogène en position substitutionnelle dans le réseau (centre U) se transforme, par faible apport d'énergie, en centre Alpha (lacune en ion négatif, formée par passage de l'hydrogène en interstitiel). Les électrons libres créés sous irradiation sont alors piégés avec formation des bandes d'absorption F, à 2500 Å, et β à 1120 Å. L'aile de cette dernière bande

s'étend au-dela de 1216 Å. La présence initiale de centres U dans les fluorures est due à la diffusion de l'hydrogène à des températures relativement élevées. Ces températures peuvent être atteintes lors du scellement des fenêtres clivées des cellules, ou de leur étuvage au moment du remplissage (300 à 400°C pour les cellules à deutérium). Le polissage des lentilles provoque également de très forts échauffements en surface.

L'apparition de ces centres est également favorisée par la présence d'impuretés, telles que les ions OH, introduites dans le cristal au cours de son élaboration.

(d) Conclusion.-
L'absence de lentille, l'origine différente des cristaux utilisés, le blindage des détecteurs peuvent expliquer le comportement différent des expériences OSO et OGO.

Il semble donc que les fenêtres en fluorure de lithium, et les détecteurs (expérience Polarisation) soient les causes principales des dégradations observées. Il est certain que les autres causes de vieillissement interviennent également, mais sans doute de façon moins importante.

5.- Conséquences du vieillissement sur la qualité des données et leur traitement.

(a) En l'absence de source de calibration utilisable en vol et pouvant elle-même varier dans le temps, toute comparaison de données séparées par plus de quelques heures, particulièrement au début du fonctionnement en orbite, nécessite l'utilisation d'une loi de correction qui ne peut être déduite que des mesures solaires.

Ces mesures ne sont comparables avec une précision suffisante que si l'on ne considère que les régions calmes du Soleil et ceci pour de faibles valeurs de l'angle Satellite-Terre-Soleil.

Il est bien évident que ces corrections alourdissent les traitements et diminuent la précision des mesures.

(b) A plus long terme, une telle méthode devient difficilement applicable faute de données (panne de l'enregistreur) et en raison même de la perte de précision des mesures qui résulte de la baisse du taux de comptage. Heureusement les évolutions sont alors relativement lentes.

(c) D'une façon générale, après deux mois de vie en orbite, les images obtenues en absorption sont fortement bruitées par la présence de lumière parasite. Leur structure n'est plus corrélée avec celle des images obtenues par la voie de résonance deutérium ou au sol. Le fait que des points extérieurs à "l'image" absorption deutérium soient alors plus intenses que certains points situés à l'intérieur suffit à le montrer.

(d) Les images obtenues en résonance deutérium restent excellentes jusqu'à la fin de 1971, et même au-dela, mais à partir de cette époque, celles qui correspondent à l'épaisseur optique nulle de la cuve sont difficilement

utilisables étant donné le faible nombre de coups mesuré.

En mesure globale, la qualité des mesures de résonance deutérium reste satisfaisante durant toute l'année 1972.

VI.- Premiers résultats

1.- Introduction

2.- Mesures globales sur l'ensemble du disque solaire
- 2.1 Résonance hydrogène
- 2.2 Résonance deutérium
- 2.3 Crépuscules
- 2.4 Mesure directe d'épaisseurs optiques dans la géocouronne

3.- Images
- 3.1 Introduction
- 3.2 Cartes en résonance hydrogène et en absorption
- 3.3 Forme de la raie Lyman-Alpha au voisinage de son centre pour des régions solaires actives et calmes
- 3.4 Résonance deutérium. Evolution de l'aile bleue de la raie Lyman-Alpha entre régions actives et calmes
- 3.5 Conclusion.

VI.- Résultats.

1.- Introduction.

Une grande partie des résultats qui vont être exposés ont été obtenus grâce au Traitement Visuel Amélioré, dans certains cas il a également été fait appel au Traitement Visuel Immédiat.

Dans les deux cas, les données d'orbitographie utilisées résultent d'extrapolations effectuées à partir de mesures de localisation antérieures, il peut donc apparaître de légères différences par rapport aux résultats qui seront déduits des données du Traitement de Masse.

Les résultats qui suivent proviennent de données prélevées au cours des premiers jours de fonctionnement de l'expérience en orbite, avant la panne de l'enregistreur magnétique et celle de la voie de résonance hydrogène.

Les vieillissements rendent la comparaison de données provenant de jours différents, difficile tant que ne sera pas établie une loi de correction précise.

Nous donnerons succintement les différents types de résultats obtenus à l'aide des mesures intégrées sur l'ensemble du champ, puis nous exposerons, plus en détail, ceux qui proviennent de l'exploitation des images obtenues au cours de cinq révolutions, le 19 avril 1971. Toutes les données dont il sera question par la suite sont corrigées conformément à ce qui a été dit au chapitre précédent.

2.- Résultats obtenus à l'aide des mesures globales.

Les mesures globales sont prélevées selon deux modes. Lorsque le disque sélecteur tourne, une mesure globale est effectuée à la suite de chaque balayage du champ. Si le disque sélecteur est arrêté, chaque séquence de 48 mesures par point est remplacée par une série de 48 mesures globales échantillonnées aux mêmes instants.

Dans la plupart des cas, les phénomènes observés varient lentement et ces 48 mesures sont remplacées dans les traitements par une seule valeur plus précise, égale à leur moyenne.

2.1 Mesures globales de résonance hydrogène.

Les courbes de la figure 58 ne sont pas les images d'un profil de raie, mais le résultat d'observations de profils différents à des longueurs d'onde différentes (J.E. Blamont et A. Vidal-Madjar, 1971).

Lorsque le satellite sort de l'ombre de la Terre, à l'Ouest, l'effet Doppler décale la longueur d'onde observée vers le rouge et la raie solaire subit une forte absorption tellurique (point A). Puis l'effet Doppler croît et passe par un maximum lorsque l'angle Satellite-Terre-Soleil atteint 90°, tandis que l'absorption tellurique décroît (point B).

L'effet Doppler décroît ensuite, s'annule au voisinage du midi solaire (point C) et devient négatif.

Pour chaque valeur de la longueur d'onde, le flux mesuré dépend alors de celle-ci, mais aussi de la température et de la densité de l'hydrogène atomique qui sépare le satellite de la source.

Cette courbe se termine au crépuscule du soir : l'effet Doppler atteint sa valeur négative maximale (point D) puis décroît en valeur absolue pendant que l'absorption tellurique augmente.

Enfin peu de temps avant que le satellite entre dans l'ombre, la raie Lyman-Alpha est brutalement absorbée (point E).

Le tableau suivant résume les caractéristiques de six révolutions au cours desquelles le disque sélecteur était arrêté en position de mesure globale.

Date	Numéro de la révolution	Longitude pour l'effet Doppler nul	Flux solaire à 2800 MHz
20 avril 1971	77	21°	136,8
22 avril 1971	106	39°	120,5
23 avril 1971	118	110°	117,5
23 avril 1971	119	133°	116,2
27 avril 1971	178	71°	101,7
28 avril 1971	192	118°	97,5

La figure 67 réprésente la projection de ces orbites sur la Terre. La révolution 178 présente la particularité de couper l'axe Terre-Soleil, au point où l'effet Doppler est nul.

Toutes ces orbites se coupent au voisinage immédiat du périgée, à 45° de latitude Nord.

Les mesures obtenues en résonance hydrogène sont représentées sur la figure 68. Elles sont corrigées de la lumière parasite et de l'effet de la fonction d'appareil. Une loi de correction du vieillissement approchée utilisant les données de lumière parasite a été utilisée.

Révolution 178. Soleil calme (figure 69).

Pour toutes ces révolutions le flux minimal n'est pas observé à l'effet Doppler nul mais pour une valeur légèrement supérieure à zéro, c'est-à-dire un peu plus tôt dans le temps.

Ceci est particulièrement marqué dans le cas de la révolution n° 178. Le fait, qu'à valeur absolue d'effet Doppler égale, le flux mesuré avant midi (heure locale du point situé sous le satellite) soit inférieur au flux mesuré après midi, d'environ 15%, le confirme.

Au cours de l'orbite :

.l'altitude du satellite augmente ce qui tend à diminuer l'effet de l'absorption géocoronale,

.la vitesse du satellite décroît, et il en résulte que les mesures correspondant à des décalages Doppler opposés, sont prélevées pour des angles Satellite-Terre-Soleil supérieurs d'environ 3° l'après-midi. Ceci tend à compenser l'effet de la variation d'altitude.

Le fait que la différence d'intensité reste de l'ordre de 15%, entre le matin et le soir, quelle que soit la valeur absolue du décalage Doppler entre 5 et 25 milliangströms, donc pour des différences d'altitude comprises entre 30 et 180 km, montre bien que l'altitude n'est pas le seul paramètre dont dépend l'intensité mesurée.

Or la sensibilité de l'appareil peut être considérée comme constante au cours d'une révolution, les mesures de lumière parasite le prouvent.

Il ne semble pas non plus que le profil du puits solaire de la raie Lyman-Alpha puisse être la cause d'un phénomène de cette importance sur un intervalle de longueur d'onde aussi étroit.

Il s'agit donc d'un effet géocoronal, d'ailleurs connu : le maximum de température de la géocouronne ne se trouve pas sur l'axe Terre-Soleil, il est décalé vers l'Est.

Il y a donc deux facteurs : altitude plus forte et densité, à altitude constante, plus faible qui font diminuer l'absorption géocoronale de façon telle que leurs effets ne peuvent être compensés par ceux de deux autres facteurs : augmentation de l'angle Satellite-Terre-Soleil et élargissement du puits géocoronal associé à l'élévation de température des atomes d'hydrogène.

Comparaison des résultats obtenus entre le 20 et le 28 avril 1971.

Au cours de cette période, la courbe représentant le signal en fonction de l'effet Doppler (figure 68) subit une importante déformation, tandis que l'indice d'activité solaire baisse.

(a) Le signal observé au centre du puits géocoronal décroît d'un facteur deux. Dans le même temps les conditions d'observation varient peu :

.l'angle Satellite-Terre-Soleil reste compris entre 22° et zéro (la variation d'altitude équivalente est de 36 km),

.l'heure locale passe de 12 h 30 à 11 h 45,

.tandis que l'altitude décroît légèrement de 525 à 516 km, ce qui peut être considéré comme tout à fait négligeable.

(b) La partie des courbes provenant de mesures effectuées le matin (effet Doppler positif) garde une pente pratiquement constante, l'intensité décroît de moins de 10%. Ces mesures étant prélevées au voisinage du point d'intersection des orbites, les conditions de mesure liées à la position du satellite peuvent être considérées comme très voisines.

(c) Par contre, après midi, les conditions de mesure varient fortement, en particulier la latitude, ainsi que le montre la figure 67. Malgré cela, les valeurs mesurées restent très peu différentes.

Il est relativement simple d'expliquer qualitativement l'ensemble des résultats obtenus pour une croissance de l'activité solaire, par une augmentation de l'intensité de la raie Lyman-Alpha en son centre, une croissance de la température et une diminution de la densité de la géocouronne au-dessus des altitudes considérées. Par contre la détermination quantitative de l'effet des différents paramètres solaires et géocoronaux ne peut se faire sans utiliser un modèle de géocouronne et un volume de données suffisant.

Pour les faibles latitudes ce travail a été fait par A. Vidal-Madjar (1973).

2.2 Mesures globales de résonance deutérium.

Pour les mêmes révolutions que précédemment, les mesures obtenues par le canal de résonance deutérium ont été corrigées de l'effet du vieillissement en prenant pour référence la baisse du signal parasite. Puis le signal parasite dû à la lumière diffusée et à la résonance de l'hydrogène résiduel a été retranché.

Au cours de cette période, la variation d'intensité mesurée à 1215,334 Å est inférieure à 5% La pente de l'aile bleue, définie comme la différence des intensités à 1215,307 et 1215,361 Å divisée par l'intensité à 1215.334 Å et qui est donc indépendante du vieillissement,reste égale à 35,6% à 1% près.

2.3 Observation des crépuscules.

La figure 70 montre que lorsque le disque sélecteur est arrêté en position de mesure globale, la fréquence de mesure de 32 Hz permet une observation précise de l'absorption brutale que subit le rayonnement ultra-violet à une altitude voisine de 100 km.

Bien que le phénomène soit très rapide, les séquences de mesure sont trop courtes pour l'observer complètement au cours d'un même crépuscule. Ces informations doivent donc être recherchées sur plusieurs orbites afin d'en obtenir une vision complète.

La figure 71 indique comment les signaux obtenus par différents canaux de mesure évoluent peu de temps avant que le satellite entre dans l'ombre de la Terre. Elle fait également apparaître que la probabilité d'observer utilement le crépuscule est faible.

(a) La lumière parasite mesurée sur les deux voies de résonance est stable tant que le paramètre d'impact est supérieur à 150 km, puis elle décroît progressivement pour s'annuler brutalement lorsque le paramètre d'impact devient égal à 87 km.

(b) Après soustraction de la lumière parasite l'intensité mesurée au centre de la raie Lyman-Alpha baisse lentement. Deux effets se combinent pour contribuer à cette décroissance : la quantité d'hydrogène atomique séparant le satellite de la source augmente, tandis que la

bande passante équivalente à la cellule se rapproche du centre du puits d'absorption. Puis le flux mesuré tend brutalement vers zéro pour une valeur du paramètre d'impact voisine de 87 km.

(c) Toujours après soustraction de la lumière parasite, l'intensité mesurée dans l'aile bleue de la raie Lyman-Alpha reste constante plus longtemps que les mesures précédentes : l'augmentation de la longueur d'onde de mesure, donc du flux incident, compense une absorption modérée due au deutérium atmosphérique. La coupure intervient ensuite d'autant plus brutalement. Elle est en effet synchrone de celle des flux parasites.

(d) En absorption, les flux détectés se comportent de façon un peu différente. Leur décroissance est plus progressive et le signal s'annule plus tard, lorsque le paramètre d'impact atteint 43 km.

Plusieurs remarques découlent de ces résultats :

1) Ces observations sont en accord avec d'autres effectuées indépendamment au cours de tirs de fusées sondes (Tousey, 1959).

La raie Lyman-Alpha correspond à une fenêtre de transmission de l'atmosphère jusqu'à une altitude de 120 km. Radialement l'épaisseur optique comprise entre cette altitude et le soleil atteint une valeur voisine de 10. Elle est due à l'hydrogène atomique et ne provoque qu'une absorption localisée au centre de la raie.

Pour une altitude inférieure, les molécules NO, H_2O et O_2 absorbent rapidement la raie Lyman-Alpha sur l'ensemble de sa largeur. Cette absorption paraît d'autant plus brutale qu'elle est observée tangentiellement aux couches denses. Ainsi une variation de 5 km du paramètre d'impact, entre 105 et 100 km, correspond à un parcours de 509 km de la lumière entre ces deux altitudes.

2) Il n'apparait pas de différence entre les crépuscules du matin et du soir. L'absorption complète est obtenue pour des paramètres d'impact très voisins. Il ne semble pas qu'il faille en conclure que la densité est plus faible du côté de l'apogée, c'est-à-dire du crépuscule du soir où le trajet parcouru par la lumière, avant d'atteindre le satellite, est plus long.

En effet, l'épaisseur des couches denses que traverse le rayonnement est indépendante de l'altitude du satellite.

3) L'utilisation de l'ensemble des données issues du traitement de masse, avec des informations d'orbitographie plus précises, doit permettre de préciser ces résultats, notamment en ce qui concerne l'existence de différences de densité, aux basses altitudes, entre les crépuscules du matin et du soir et l'absorption par le deutérium atmosphérique. A notre connaissance cette étude n'a jamais été faite par ce procédé pendant une durée suffisante pour détecter un effet éventuel de l'activité solaire.

La panne de la voie de résonance hydrogène n'a pas de conséquences graves à ce sujet.

2.4 Mesures directes d'épaisseurs optiques.

La figure 72 représente le signal détecté par la voie de résonance hydrogène pour les valeurs du décalage Doppler élevées et dans le cas où le plan de l'orbite contient la ligne de visée (27 avril 1971, révolution 178).

Les points de ces courbes qui se trouvent sur une même ligne de visée, c'est-à-dire qui correspondent à la même valeur du paramètre d'impact, permettent de calculer directement l'épaisseur optique géocoronale $\Delta\tau$ qui les sépare :

$$\Delta\tau = \log_N \frac{I_1}{I_2}$$

Ceci à la condition, à peu près réalisée dans le cas considéré, que les décalages Doppler associés à ces points soient très voisins. Le tableau suivant donne quelques valeurs obtenues pour la révolution 178 :

- P_i est la valeur du paramètre d'impact,
- L la distance qui sépare les points de mesure d'une même ligne de visée.

En raison de l'ellipsité de l'orbite les distances L associées au même paramètre d'impact, le matin et le soir sont très différentes, aussi vaut-il mieux comparer les grandeurs $\Delta\tau/L$ que directement les $\Delta\tau$.

P.i. km	L_1 km	$\Delta\tau_1$	$\Delta\tau_1/L_1$ $km^{-1}\times10^4$	$\frac{\Delta\tau_1/L_1}{\Delta\tau_2/L_2}$	$\Delta\tau_2/L_2$ $km^{-1}\times10^4$	$\Delta\tau_2$	L_2 Km
400	1975,9	0,18	0,91	0,77	1,18	0,48	4036,8
350	2463,8	0,32	1,30	1,10	1,18	0,517	4377,5
300	3050,6	0,47	1,54	1,30	1,18	0,55	4657,3
250	3486,1	0,64	1,84	1,50	1,22	0,60	4911,9
200	3877,8	0,84	2,17	1,70	1,275	0,66	5176,3
150	4226,3	1,08	2,56	1,86	1,37	0,73	5323,9
	MATIN				SOIR		

Ces valeurs attirent plusieurs remarques :

(a) $\Delta\tau_1/L_1$ varie rapidement en fonction du paramètre d'impact

(b) $\Delta\tau_2/L_2$ varie nettement moins vite.

(c) Tant que le paramètre d'impact est inférieur à 350 km, l'épaisseur optique par kilomètre est plus grande le matin que le soir. Ceci s'explique par une densité plus forte et une température plus faible le matin. Par contre pour un paramètre d'impact de 400 km, la situation s'inverse.

Pour un décalage Doppler $\Delta\lambda$ au moment des mesures, l'épaisseur optique est de la forme :

$$\Delta\tau = A.\rho.\frac{1}{\sqrt{T}} \exp - \left(\frac{\Delta\lambda}{\Delta\lambda_D}\right)^2$$

où A est une constante

ρ est la densité du milieu

T la température

et $\Delta\lambda_D$ vaut : $\Delta\lambda_D = \frac{\lambda_o}{c}\left(\frac{2kT}{M}\right)^{1/2}$

La connaissance des températures entraîne donc celle des densités. En utilisant les valeurs de 700°K et 1100°K, respectivement pour le crépuscule du matin et du soir (valeurs déterminées à partir des données des expériences Polarisation et REA pour cette même révolution, S. Cazes et C. Emerich, 1973) et en supposant que celles-ci sont uniformes dans les deux régions considérées ; le rapport des densités du matin à celles du soir évolue de la façon suivante :

P.i.	ρ matin / ρ soir
400	1.80
350	2.55
300	3.00
250	3.43
200	3.84
150	4.18

3.- Images solaires.

3.1 Introduction.

Les résultats suivants proviennent de données visualisées à l'aide du TVA qui présente l'inconvénient de ne pas les regrouper par orbite mais par flot de télémesure et de ne pouvoir opérer que séparément sur chacun de ces flots.

Un certain nombre d'opérations ont donc dû être faites sans l'aide du calculateur : combinaison d'images obtenues pour des états filaments différents, ou provenant d'orbites différentes, établissement d'histogrammes et moyennes de ceux-ci... Chaque carte issue du programme de compositage comporte plus de 350 éléments utiles, ceci représente donc un volume de travail important qui ne pourra être généralisé sans l'aide de programmes de traitement.

Ces résultats sont donc très partiels et leur précision doit pouvoir être améliorée, en particulier en ce qui concerne la résonance deutérium.

3.2 Flux total de la raie Lyman-Alpha. Intensité en son centre.

Les trous du disque sélecteur limitent la résolution spatiale de l'expérience à 5 minutes d'arc dans les cas les plus favorables. En effet, le plus souvent, une plage de cette taille verra son flux réparti entre plusieurs points élémentaires des images brutes et si elle peut être distinguée de l'émission solaire calme, son intensité sera largement sous-estimée. Le programme de compositage utilisé par le Traitement Visuel Amélioré permet d'améliorer la résolution ainsi que la précision des mesures d'intensité.

Il permet de combiner toutes les images brutes comparables d'un même flot de télémesure, soit environ 92 images pour les voies absorption et 23 images pour chaque état filament en résonance. Au cours d'une de ces périodes la rotation apparente du Soleil ne dépasse pas 0,155 minute d'arc.

La figure 73 donne un exemple des résultats qui peuvent être obtenus. Les points y sont séparés de 1,5 minute d'arc.

Dans ce cas, l'intensité totale de la raie Lyman-Alpha est celle qui est mesurée par le canal absorption deutérium ; l'intensité au centre de la raie résulte de l'addition, point par point, des trois images correspondan aux trois états de chauffage des filaments de la cellule à hydrogène. La lumière parasite constitue une quatrième image qui en a été déduite.

La structure de ces cartes est en bon accord avec le spectrohéliogramme obtenu le même jour par l'Observatoire de Meudon (figure 74).

La décroissance du signal observée au bord de l'image n'est pas significative, elle est due à la mauvaise résolution des images brutes bien que le traitement n'utilise pas les points élémentaires ayant une faible partie commune avec l'image solaire.

L'absorption géocoronale n'affecte qu'une proportion négligeable de l'intensité totale de la raie. Ceci n'est plus vrai au centre de la raie. Il est toutefois possible de considérer qu'à chaque instant, les différentes aires élémentaires de l'image voient leur intensité atténuée d'un même facteur, et par conséquent, que la carte d'émission relative du soleil n'est pas modifiée.

La figure 75 montre que l'émission mesurée selon une corde du disque solaire varie de la même façon au centre de la raie et pour l'ensemble de la raie lorsque les régions considérées sont calmes (40° de latitude solaire Sud).

Par contre, au centre de la raie l'émission d'une plage importante (15° de latitude Nord, 10° de longitude Ouest) est 2,54 fois plus intense que celle des régions calmes alors que l'intensité totale de la raie Lyman-Alpha n'augmente que d'un facteur 1,8 si l'on considère les mesures de la voie absorption deutérium, d'un facteur 2,157 d'après celles de la voie résonance deutérium à l'épaisseur optique nulle et d'un facteur 2,04 à partir des mêmes mesures de la voie résonance hydrogène. Dans ces deux derniers cas, la proportion de lumière parasite est très faible, alors que l'image d'absorption deutérium comporte environ 20% de bruit (cf : § V.9.3.). Compte tenu de cette correction, l'accroissement d'intensité à une valeur moyenne de 2,08.

Pour que l'augmentation d'intensité soit la même au centre de la raie et pour l'ensemble de celle-ci il faudrait admettre que les mesures d'intensité totale comporte encore 30% de bruit ce qui n'est pas le cas.

Les figures 74 et 75 font enfin apparaître que ces variations d'intensité sont sous-estimées.

Un calcul de probabilité théorique montre, qu'en moyenne, la différence d'intensité mesurée entre une plage carrée de 5 minutes d'arc de côté (ce qui est la dimension de la région considérée) et celle du fond calme, ne représente que 56% de la différence d'intensités émises.

Compte tenu de cette dernière correction, le rapport d'intensité active à intensité calme atteint 3,71 au centre de la raie pour seulement 2,93 en ce qui concerne l'intensité totale.

Ces chiffres font apparaître que les variations d'intensité de la raie Lyman-Alpha liée à l'activité solaire s'accompagne d'une déformation de son profil. L'intensité croît plus vite au centre de la raie que dans les ailes.

Remarque.

L'intensité choisie pour les régions calmes est celle qui est mesurée en des points apparaissant comme calmes sur le spectrohéliogramme et qui se trouvent, en même temps, suffisamment éloignés des bords du disque et des centres actifs pour que cette intensité mesurée ne soit ni sous-estimée ni sur-estimée.

Dans le cas considéré, cette intensité est celle du point de 170ème importance, si le premier correspond à la mesure la plus élevée.

A partir de cette intensité, il est possible de calculer quel serait le flux mesuré par les différentes voies de mesure si le soleil était parfaitement calme. Il peut ensuite être déduit de cette valeur l'accroissement de flux dû à l'activité solaire. Pour cette révolution les valeurs obtenues sont les suivantes :

Accroissement du flux total de la raie : 16,7%

Accroissement de l'intensité au centre : 21,7%

Il faut remarquer que cette dernière valeur est loin d'atteindre la variation d'un facteur deux observée sur le signal de résonance hydrogène à 1215,664 Å au cours de la période du 20 au 28 avril 1971, alors même qu'à aucun moment le Soleil ne puisse y être considéré comme exempt de toute activité. Ceci montre que les variations d'intensité ainsi mesurées directement au centre de la raie dépendent plus des conditions de mesure et des paramètres géocoronaux que de l'intensité au centre de la raie solaire non absorbée par la géocouronne.

Les valeurs mesurées pour des décalages Doppler supérieurs à 10 mÅ varient d'ailleurs beaucoup plus faiblement au cours de cette même période.

3.3 Evolution relative du profil de la raie Lyman-Alpha en son centre entre les régions calmes et actives.

L'effet Doppler que provoque le mouvement du satellite au cours de l'orbite permet de faire un balayage en longueur d'onde du centre de la raie à l'aide de la voie de mesure résonance hydrogène.

Nous allons supposer, comme précédemment, qu'en un point de l'orbite l'absorption géocoronale ne modifie pas le rapport des flux émis par les différentes régions de la chromosphère, c'est-à-dire que les flux mesurés sont proportionnels aux flux émis, malgré cette absorption.

Il est alors sélectionné trois groupes de 15 images brutes prélevées au voisinage du maximum d'effet Doppler vers les courtes longueurs d'onde pour l'un d'entre eux, de l'effet Doppler nul pour le deuxième et de l'effet Doppler maximal vers les grandes longueurs d'onde pour le dernier.

Ces trois groupes d'images sont compositées séparément. Puis l'image de lumière parasite associée à chacun d'eux est déduite point par point du résultat obtenu.

Etant donné le faible nombre d'images brutes utilisées, ce compositage ne donne pas une précision suffisante pour détecter avec certitude une différence entre les cartes qui en résultent.

La rotation du soleil ne permet pas de combiner des images provenant de plusieurs révolutions consécutives sans ajouter une nouvelle cause d'erreur qui viendrait détruire le gain de précision obtenu par l'utilisation d'un plus grand volume de données.

A chacune de ces cartes peut, par contre, être associé un histogramme du nombre de coups par point élémentaire et les histogrammes de quelques orbites successives peuvent ensuite être l'objet d'un calcul de moyenne.

La figure 76 (a) représente les résultats obtenus à partir de cinq révolutions.

Les taux de comptage élevés et les nombres de points faibles y sont relatifs aux régions actives.

Le fait que les courbes provenant des décalages Doppler vers les courtes et les grandes longueurs d'onde soient confondues ne doit pas être interprété comme découlant d'une symétrie des paramètres géocoronaux par rapport au point situé sur l'axe Terre-Soleil.

Ces courbes correspondent à des conditions de mesure différentes pour lesquelles : l'altitude du satellite, l'angle de dépression solaire, la température et la densité de la géocouronne interviennent. Le fait que ces différents effets se compensent ici est un hasard (cf : § VI.2.1.).

Etant donné que l'information recherchée est une variation relative du profil de l'émission solaire entre les régions calmes et actives, nous pouvons supposer que, pour les régions calmes le profil du centre de la raie est plat dans l'intervalle de longueur d'onde de 0,05 Å considéré, et en déduire le profil associé aux régions actives.

Dans ce cas particulier, cela signifie qu'à l'effet Doppler nul, le taux de comptage des régions calmes doit être multiplié par un facteur 1,83 pour compenser l'atténuation géocoronale.

La figure 76(b) montre qu'en appliquant cette même correction aux régions actives, le profil de leur émission est convexe et que l'intensité au centre est supérieure de 5 à 10% à celles des longueurs d'onde décalées de plus ou moins 25 milliangströms.

Il faut remarquer que cette distance de 25 milliangströms exclue un effet de la fonction d'appareil sur la valeur trouvée (cf : § V.9.5.).

En conclusion, si dans cette bande de longueur d'onde de 50 milliangströms, la concavité de la raie Lyman-Alpha émise par les régions calmes est inférieure à 5 - 10% le profil d'émission des régions actives est plat ou non renversé.

Un autre résultat découle du fait qu'il n'y a pas de différence d'évolution notable entre les valeurs extrêmes de cette bande de longueurs d'onde. Il n'y a pas de déplacement important de la raie dû au mouvement de l'hydrogène d'une plage importante située au voisinage du centre du soleil.

3.4 Images obtenues en résonance deutérium.

Les traitements qui viennent d'être décrits peuvent s'appliquer aux images obtenues par le canal de résonance deutérium.

Les résultats sont toutefois moins précis que dans le cas de la résonance hydrogène pour trois raisons :

1) L'effet Doppler dû à la rotation du soleil modifie la longueur d'onde observée (cf : § V.9.7.).

2) Le niveau de comptage est moins élevé qu'en résonance hydrogène

3) L'effet de l'hydrogène résiduel présent dans la cuve à deutérium doit être retranché, point par point, il est proportionnel à l'intensité de chaque aire élémentaire des images obtenues simultanément en résonance hydrogène.

En ce qui concerne la révolution étudiée au paragraphe précédent, l'intensité mesurée pour la même plage importante représente 1.8 fois l'intensité des régions calmes, soit un rapport de 2.45 après correction de l'effet d'atténuation des contrastes.

Il est également possible d'évaluer une intensité théorique correspondant à l'aile bleue de la raie Lyman Alpha dans le cas d'un soleil supposé parfaitement calme et d'en déduire l'accroissement d'intensité lié à l'activité pour cette révolution, soit 11%.

La comparaison de ces valeurs à celles qui ont été obtenues pour le flux total à Lyman-Alpha et l'intensité au centre de la raie montre que l'intensité dans l'aile bleue, à la longueur d'onde de résonance du deutérium, est moins sensible à l'activité solaire que le centre de la raie et même que l'intensité totale.

L'évolution de la pente dans l'aile bleue de la raie Lyman-Alpha, est évaluée par l'intermédiaire des histrogrammes associés aux images lissées, à condition de se limiter aux parties de l'image où l'effet Doppler local est faible ou voisin de celui du centre actif étudié.

Pour les cinq orbites déjà utilisées cette pente relative varie de 34% à 32% de l'intensité moyenne à 1215.334 Å, respectivement pour les régions calmes et actives. Cela signifie que, dans l'intervalle de longueur d'onde considéré de 50 milliangströms, le profil de la raie Lyman-Alpha émise par les régions actives est pratiquement déduit de celui qui est associé aux régions calmes par affinité. Ou encore que la pente absolue, et non plus relative, varie dans les mêmes proportions que l'intensité à la longueur d'onde de résonance du deutérium.

3.5 Conclusion.

La figure 77 résume les premiers résultats obtenus à l'aide des images solaires.

Le profil de la raie Lyman-Alpha émise par une plage ne présentant pas d'activité extrêmement spectaculaire est très différent de celui de la raie émise par les régions plus calmes. Le renversement de la raie solaire disparait totalement tandis que l'intensité au centre augmente environ deux fois plus fortement que dans l'aile. La variation totale du flux Lyman-Alpha varie comme la moyenne de ces deux points et la pente de l'aile bleue à la longueur d'onde de résonance du deutérium est quasiment affine de celle des régions calmes.

Ces résultats sont tout à fait en accord avec ceux qui ont été obtenus par Bruner au cours d'un récent tir de fusée (1972).

Conclusion.-

Le traitement des données obtenues par l'expérience Solaire du Satellite D2-A Tournesol a été fortement compliqué par les incidents de fonctionnement et les vieillissements que nous avons signalés. Il est par ailleurs certain que la qualité des informations aurait pû être améliorée grâce à quelques modifications de l'appareil comme celles qui avaient été adoptées pour le modèle de vol n° 2 monté sur D2-A Polaire :

. Adjonction d'une cellule à hydrogène filtre permettant de supprimer le bruitage du signal de résonance deutérium par l'hydrogène résiduel (le même résultat aurait d'ailleurs pu être obtenu en plaçant les deux cellules existantes en série sur un seul faisceau de lumière solaire prédispersée).

. Possibilité d'inhiber le programmeur de calibration du satellite dont l'automatisme élimine systématiquement des données au voisinage du midi solaire et du crépuscule du soir.

L'excellente stabilité des cellules à résonance aurait également été mieux utilisée si le mode d'alimentation sous 5 volts avait pu être remplacé par un cycle de chauffage des filaments comportant deux mesures à la même épaisseur optique associées à deux mesures de lumière parasite.

Le traitement de masse des données recueillies permettra d'augmenter la précision des premiers résultats de façon sensible notamment en ce qui concerne les évolutions dans le temps et l'étude des crépuscules.

Un volume de données important permettra également d'aborder l'étude des phénomènes géocoronaux localisés en liaison avec les autres expériences du satellite.

- REFERENCES -

Hinteregger, H.E.
Space Sci. Rev. 4, 461-497 (1965)

Purcell, J.D., Tousey R.
Mem. Soc. Sci. Liège 5e Ser IV 283-293 (1961)

Purcell, J.D., Tousey, R.
J.G.R. n° 1, 370 (1965)

Bruner, E.C., Parker, R.W.
J.G.R. 74 (1) 107-113 (1969)

Blamont, J.E., Vidal-Madjar, A.
J.G.R. 76 (19) 4311-4324 (1971)

Mercure, R., Miller, S.C. Jr, Rense, W.A., Stuart, F.
J.G.R. 61 572 (1956)

Purcell, J.D., Tousey, R.
Mem. Soc. Sci. Liège 5e Ser IV 274-293 (1961)

Sloan, W.A.
Solar Physics 4 196-211 (1968)

Printz, D.K.
Private Communication (1973)

Bruner, E.C.
Communication Privée (1973)

Kinman, T.D.
MNRAS 116-77 (1956)

Severny, A.B.
Astron. Zhurnal 34, 325 (1957)

Goldberg, L., Mohler, O.C., Müller, E.A.
Ap. J. 127 302 (1958)

Koval, A.N.
Izuest Krimskoĭ Astrofiz Obs. 22.81 (1960)

Bertaux, J.L., Quessette, J.A., Vidal-Madjar, A.
Rapport interne du Service d'Aéronomie du CNRS n° 105 (1966)

Cazes, S., Emerich, C. Blamont, J.E.
Determination of exospheric temperature and density at 500 km by measurement of polarization, and width of scattered Lyman-Alpha line.
J.G.R. (à paraître) 1973

Publications concernant l'expérience D2-A.

Blamont, J.E., Huriet, J.
Définition Scientifique et Technique du projet
de Satellite D2 (1965)

Blamont, J.E., Charra, J., Coufleau, P., Huriet, J.
Définition Scientifique et Technique de l'expérience Solaire
additifs et modifications (1965)

Blamont, J.E., Charra, J., Huriet, J.
L'expérience D2 Tomes II et IIbis (1966)

Charra, J.
Contrôles du disque sélecteur solaire
Rapport interne du Service d'Aéronomie n° 110 (1967)

Charra, J.
Etude de la dynamique du disque sélecteur solaire
Rapport interne du Service d'Aéronomie n° 142 (1967)

Bouyries, P., Charra, J.
Essais d'ambiance du motoréducteur SFMI
L'expérience D2 Tome Ibis I.6.2. (1968)

Charra, J., Favard, J.C.
D2 expérience Solaire. Traitement de l'information.
Image du soleil
Rapport interne du Service d'Aéronomie n° 134 (1967)

Emerich, C.
Influence de la vapeur d'eau atmosphérique sur la transmission
des expériences D2
Rapport interne du Service d'Aéronomie n° 144 (1967)

Coufleau, P., Huriet, J. Jegoudez, G.
Etude préliminaire à l'expérience D2 : bombardement électronique
Rapport interne du Service d'Aéronomie n° 170 (1968)

Cazes, S.
Etude comparée des USPED et des cellules à hydrogène
Rapport interne du Service d'Aéronomie n° 153 (1968)

Publications de résultats.

Charra, J.
Solar Lyman-Alpha line shape from quiet and active regions
(contributed paper d.16)
XVe COSPAR MADRID Mai 1972

Blamont, J.E., Charra, J.
Premiers résultats des expériences placées à bord du satellite D2-A. Expérience Solaire
Rapport interne du Service d'Aéronomie n° 335 (1971)

Charra, J.
Comparaison des émissions Lyman-Alpha des régions solaires calmes etaactives
Journées de la thermosphère - Meudon - 1972
(à paraître)

Bibliographie.

Blamont, J.E., Delache, P., Stober, A.F.
Nasa Technical note (1964)

Blamont, J.E., Malique, C.
Observations of the variations of intensities at 1216 Å and 1300 Å near the Solar limb
Rapport interne du Service d'Aéronomie n° 117 (1967)

Malique, C.
Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques- Paris (1970)

Bonnet, R.M.
Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques - Paris (1968)

Vidal-Madjar, A.
Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques - Paris (1973)

Mein, P.
Thèse de Doctorat ès Sciences Physiques - Paris (1966)

Quessette, J.A.
Thèse de 3è Cycle - Paris (1968)

Ouvrages.

Pecker, J.C., Schatzman, E.
Astrophysique générale (La Pleiade)

Smith, H.S., Smith E.V.P.
Solar Flares (Mac Millan Co. 1963)

Jeass, J.M.
Astronomy and Cosmogony
(Dover Publi. Inc. 1961)

Mustel, E.R., Severny, A.B., Sobolev, V.V.
Theoretical Astrophysics
(Pergamon Press 1958)

Mitchell, A.C.G., Zemansky, M.W.
Resonance Radiation and Escited Atoms
(Cambridge at the Univ. Press 1961)

Mikhailov, A.A.
Physics of the Solar Systèm (1962)

Aller, L.M.
The abondance of the elements
Interscience Publishers (1961)

Meeus, J., Grosjean, C.C., Vanderleen, W.
Canon of Solar Eclipses
Pergamon Press (1966)

Kuiper, G.P.
The Sun
Univ. of Chicago Press (1953)

Menzel, D.M.
Our Sun (Harvard Univ. Press 1959)

Bray, R.J., Loughead, R.E.
The Solar Granulation (1967)

Thomas, R.N., Athay, R.G.
Physics of the Solar Chromosphere
(Interscience Publishers, 1961)

Brandt, J.C., Hodge, P.W.
Solar System Astrophysics
(Mac Graw Hill 1964)

Ortner, J., Maseland, M.
Introduction to Solar Terrestrial Relations
(Reidel Publish. Co. 1965)

Articles.

Athay, R.G.
Sources of Solar Ultraviolet Radiations
J.G.R. 66 n° 12 (1961)

Widing, K.G., Worton, D.C.
Theoretical Study of Solar Lyman-Alpha profile
The Astro. Jour. 65 n° 2 (1960)

Widing, K.G., Worton, D.C.
The Solar Lyman-Alpha Emission line
Ann. Astrop. 23 n° 6 p. 968 (1960)

Hughes, C.J.
Profiles of Lyman-Alpha scattered by free electrons
in the solar corona
Astrophys. Journal 142 (1965)

Kreplin, R.W., Chubb, T.A., Friedman, H
X ray and Lyman-Alpha emission from the Sun as measured from
NRL SRI satellite
J.G.R. 67 n° 6 (1962)

Violett, T., Rense, W.A.
Solar Emission lines in the extreme U.V.
Ap. J. 130 954 (1959)

Rense, W.A.
Solar Ultraviolet Research
Space Astrophysics p. 17 (1961)

De Jager, C.
The distribution of Lyman-Alpha over the Solar Disk
Pergamon Press - London p. 174

Donahue, T.M.
The Problem of atomic hydrogen
S.R.C.C. n° 5 Univ. of Pittsburgh (1965)

- LISTE DES FIGURES -

0. Photographie du satellite D2-A en configuration de vol
1. Répartition des équipements et expériences dans le satellite
2. La transition Lyman-Alpha
3. Spectre solaire ultra-violet (d'après Hinteregger)
4. Profil de la raie Lyman-Alpha solaire
5. Mesure d'épaisseurs optiques géocoronales au crépuscule
6. Implantation de l'expérience dans le satellite
7. Prévisions d'activité solaire (d'après Solar Geophysical Data)
8. Principe des cuves à résonance
9. Effet Doppler dû au mouvement du satellite
10. Exploration du profil de la raie Lyman-Alpha solaire
11. Schéma optique de l'expérience
12. Reproduction du disque sélecteur
13. Synoptique de l'expérience
14. Photographie de la structure de l'expérience
15. Photographie d'un boitier détecteur ouvert
16. Photographie du mécanisme sélecteur d'images
17. Photographie du mécanisme d'obturation et de calibration
18. Cycle de fonctionnement normal de l'expérience
19. Diagramme des essais des sous-ensembles
20. Dispositif de contrôle des miroirs et réseaux en ultra-violet lointain
21. Photographie d'un essai de perçage du disque sélecteur (en rotation)
22. Dispositif de mesure de densité en ultraviolet lointain
23. Structure des lampes de calibration embarquables
24. Caractéristiques des lampes de calibration
25. Structure des cellules à résonance embarquables
26. Mesure de la transmission et du facteur de réduction d'une cellule à résonance
27. Evolution du facteur de réduction en fonction de l'épaisseur optique (pour différentes raies Doppler incidentes)
28. Evolution de l'intensité du flux de résonance en fonction de l'épaisseur optique

29. Spectre d'émission d'une lampe à deutérium au voisinage de $\lambda = 1215.5$ Å

30. Contrôle des alignements en lumière visible

31. Montage d'essai et de réglage des boitiers détecteurs

32. Courbes intégrales du spectre d'impulsion du détecteur résonance deutérium MV1

33. Variation du signal détecté en fonction de la haute tension appliquée au photomultiplicateur

34. Défaut de linéarité (voie de résonance hydrogène MV1)

35. Réglage des miroirs de calibration de l'expérience

36. Schéma du montage de l'expérience dans la cuve à vide

37. Photographie de l'expérience dans la cuve à vide

38. Numérotation des aires d'analyse et images des axes de référence du satellite pour la voie hydrogène

39. Images d'une fente fixe pour différentes longueurs d'onde

40. Photographie de l'expérience munie de sa boîte de simulation

41. Bandes passantes de l'expérience (satellite pointé)

42. Schéma des moyens mis en oeuvre pour le Contrôle Visuel Immédiat et le Direct Data

43. Exemple d'images ayant la même structure

44. Diagramme des traitements scientifiques du Traitement Visuel Amélioré Solaire

45. Matrice de calibration de la voie absorption deutérium

46. Déplacement du barycentre des images évalué par différentes méthodes

47. Schéma des différents programmes du Traitement Visuel Amélioré

48. Exemple de visualisation sur console obtenue par le Traitement Visuel Amélioré

49. Visibilité de D2-A par les stations du CNES et différentes stations de la NASA (d'après Document CNES)

50. Caractéristiques de différentes orbites pouvant être obtenues à l'aide du lanceur Diamant

51. Déroulement de la mise en orbite (Document CNES)

52. H_0 + 814 secondes : séparation case-satellite (Document CNES)

53. Evolution dans le temps de la haute pression du gaz de pilotage

54. Bilan des opérations effectuées pour D2-A

55. Mouvement de la ligne de visée de l'expérience

56. Variations de la température de l'expérience dans le temps

57. Etablissement de l'équilibre thermique en fonctionnement

58. Lumière parasite et résonance hydrogène pure (22 avril 1971)

59. Lumière parasite et résonance deutérium (22 avril 1971)

60. Fonction d'appareil de la résonance hydrogène dans l'aile du puits géocoronal

61. Fonction d'appareil de la résonance hydrogène au fond du puits géocoronal

62. Signal de résonance hydrogène pour des niveaux d'activité solaire différents

63. Correction de l'effet de l'hydrogène résiduel sur le signal de résonance deutérium

64. Table des corrections à appliquer aux éléments des cartes solaires lissées obtenues par la voie de résonance deutérium (Effet Doppler dû à la rotation du soleil)

65. Données brutes de 21 mois de fonctionnement : flux à 2800 MHz, Température. Mesures. Incidents.

66. Variation dans le temps de la sensibilité des différentes voies de mesure

67. Projection de différentes orbites sur la terre (20-28 Avril 1971)

68. Evolution du signal de résonance hydrogène entre le 20 et le 28 avril 1971

69. Dissymétrie matin/soir du signal de résonance hydrogène. Lien avec la différence d'altitude (révolution 178)

70. Evolution de différents signaux de mesure au cours d'un crépuscule (23 avril 1971)

71. Extinction des différents signaux de mesure au crépuscule

72. Mesure directe d'épaisseurs optiques géocoronales (27 avril 1971)

73. Cartes du soleil en Lyman-Alpha (19 avril 1971)

74. Spectrohéliogramme solaire (19 avril 1971)

75. Intensités mesurées au centre de la raie et pour l'ensemble de la raie, selon une corde du disque solaire

76(a) Histogrammes des éléments des images lissées au voisinage du centre de la raie

76(b) Evolution relative du profil du centre de la raie

77. Emission Lyman-Alpha d'une forte plage comparée à celle d'une région calme.

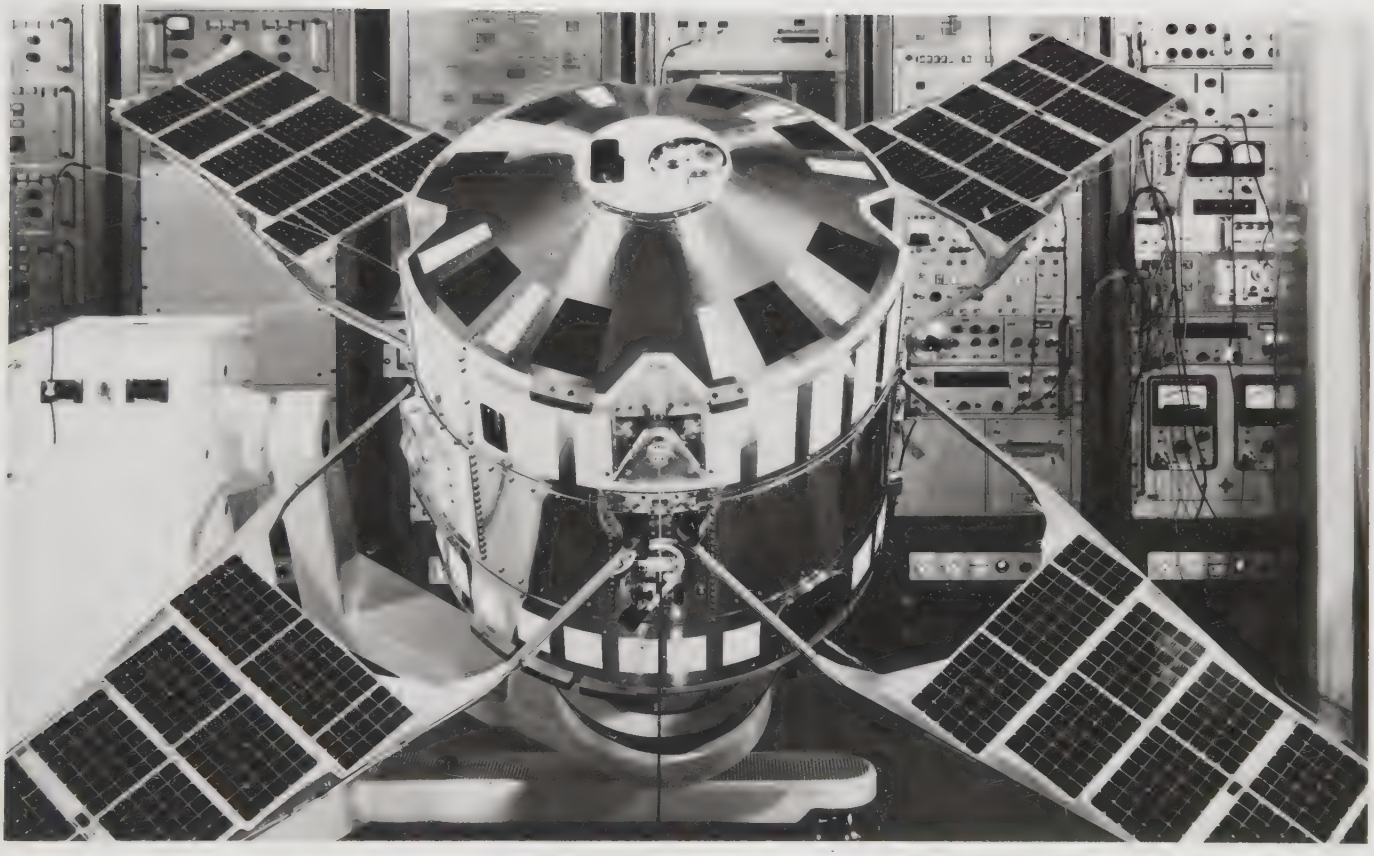


Fig. 0 - Photographie du satellite D2-A
en configuration de vol -

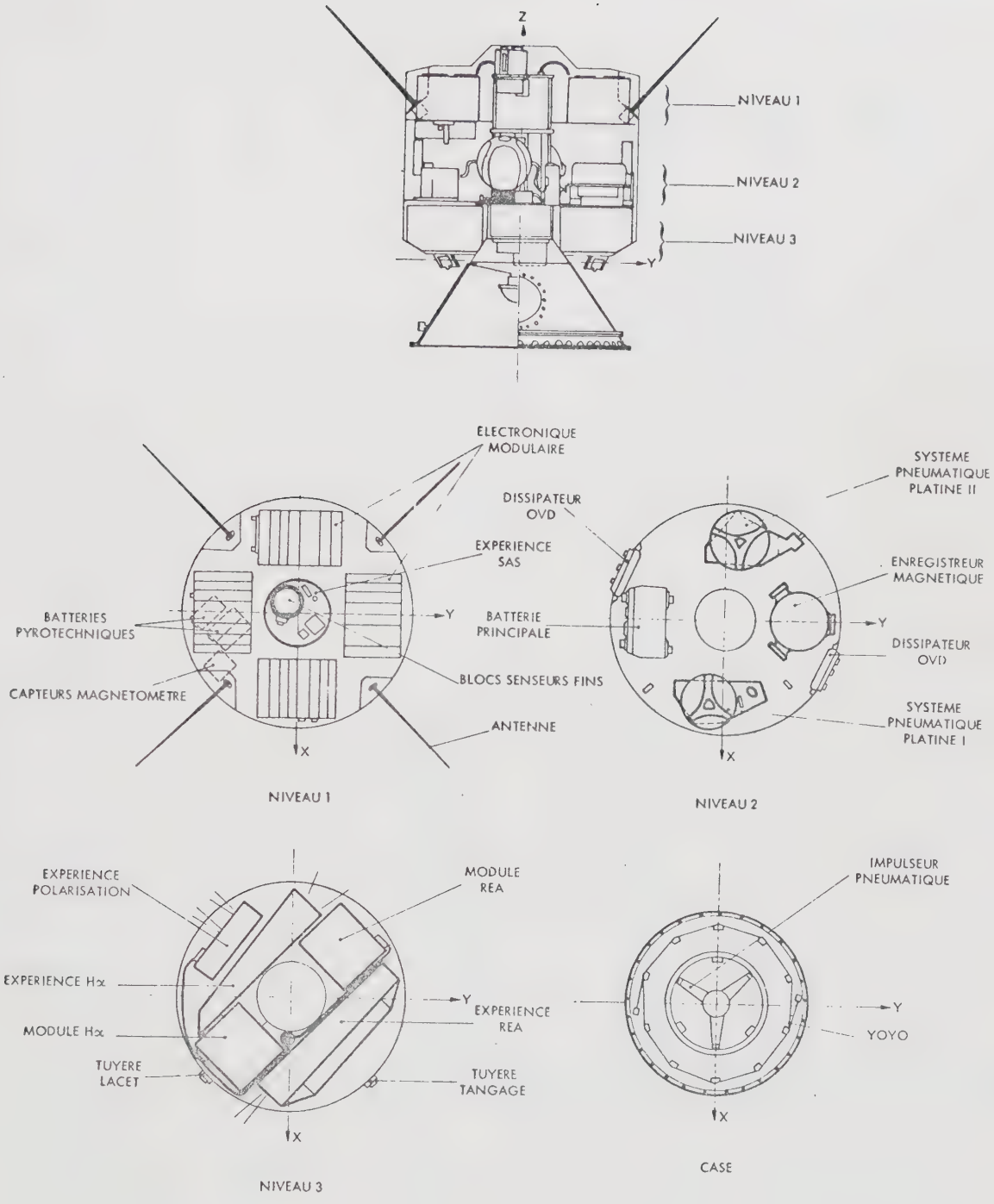
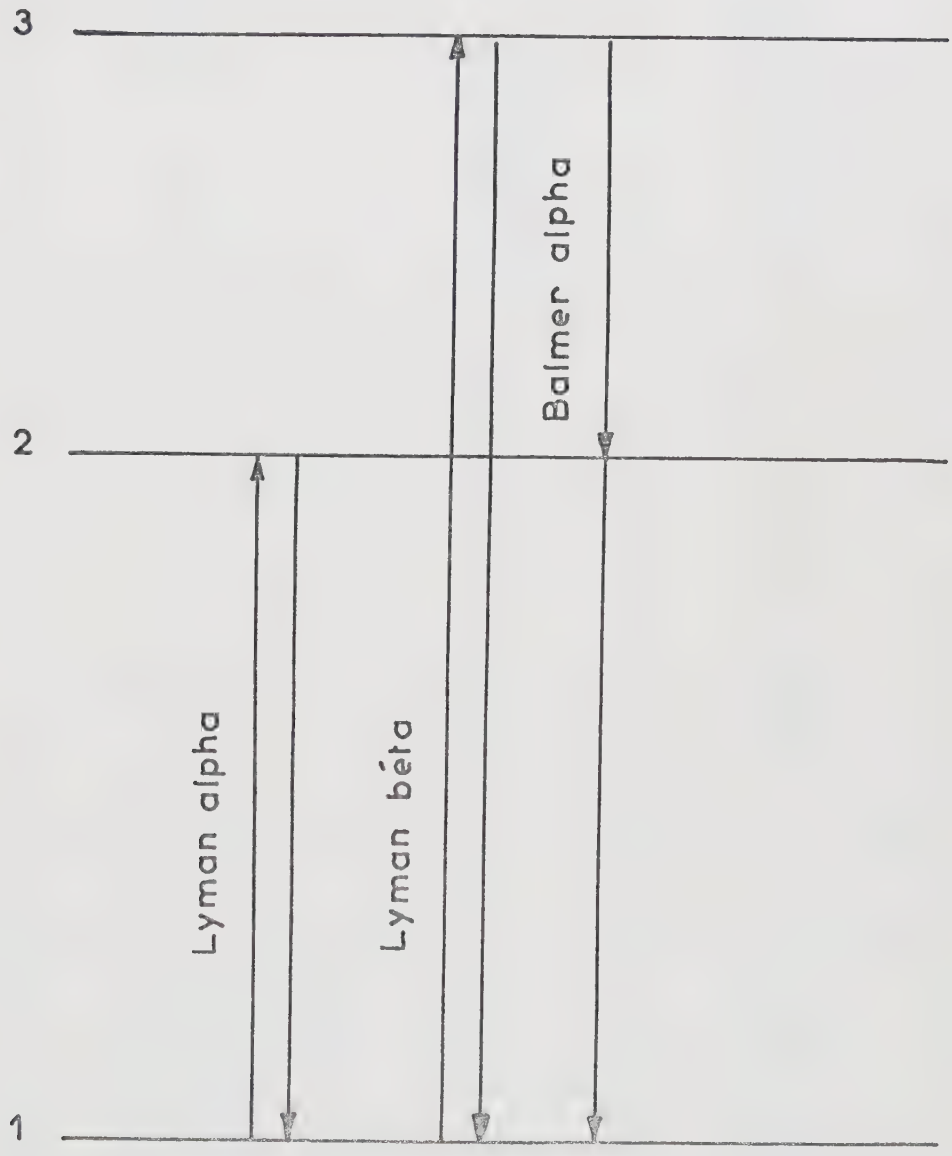


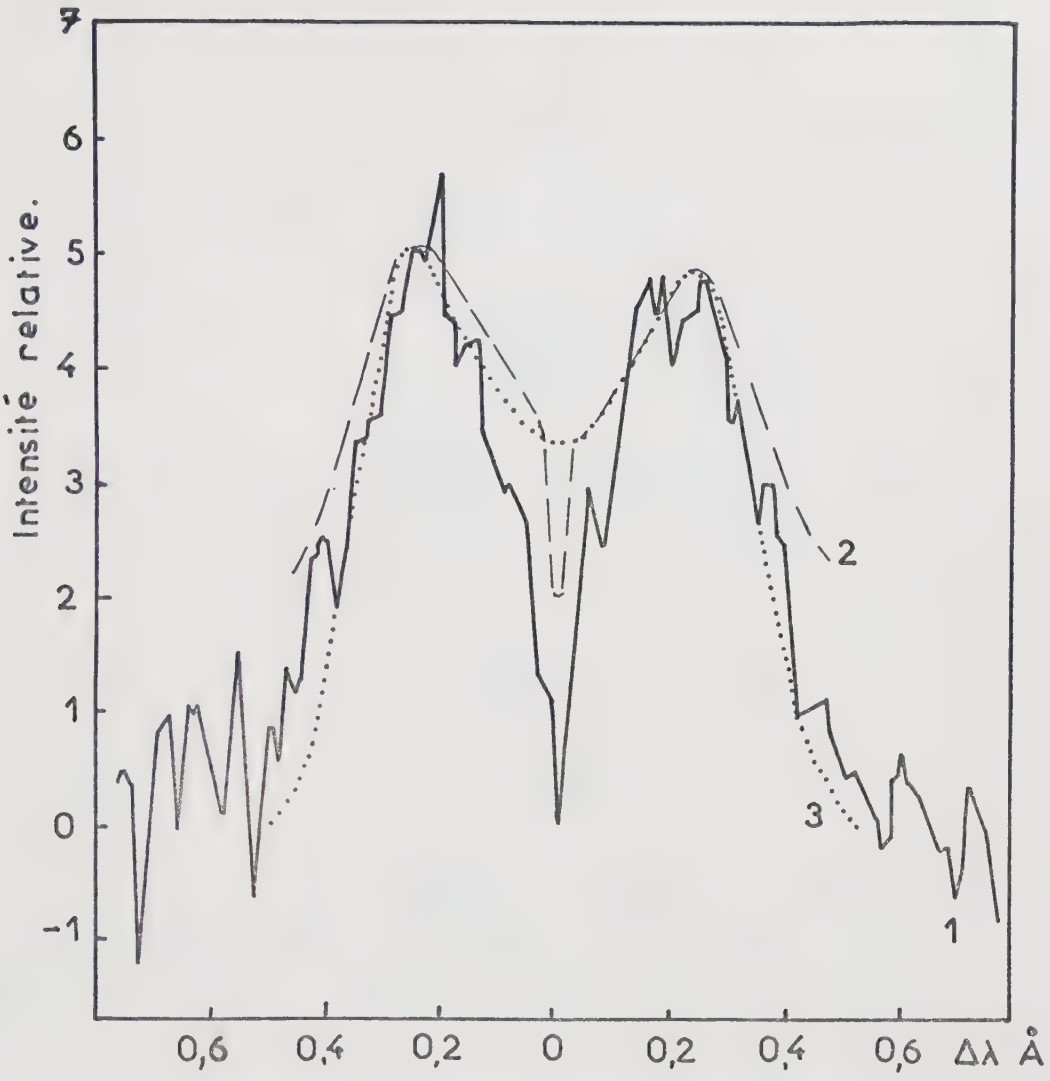
Figure 1 Répartition des équipements dans le satellite et sa case.



- Figure 2 - La transition Lyman alpha -

Longueur d'onde		I_o 10^9 ph / cm^2 sec	I_o erg / cm^2 sec
1402.70	Si IV	0.92	0.013
1393.73	Si IV	2.1	0.030
1335.68	C II	3.37	0.050
1334.51	C II	3.36	0.050
1306.02	O I	1.64	0.025
1304.86	O I	1.315	0.020
1302.17	O I	0.85	0.013
1265.04	Si II	1.275	0.020
1260.66	Si II	0.635	0.010
1242.78	N v	0.188	0.003
1238.80	N v	0.25	0.004
1325-1275		11.8	0.18
1275-1220		26	0.41
1215.7	H Ly-α	270	4.4
1206.5	Si III	4.3	0.071
1220-1200	excl.H Ly-α,Si III	7.4	0.121
1200-1180		5.5	0.092
1175.7	C III	2.5	0.042
1180.1130	exclu C III	5.8	0.100
1130-1090		4.4	0.079
1085-7	N II	0.48	0.009
1090-1040	exclu N II	4.2	0.078
1037.6	O VI	1.33	0.025
1031.9	O VI	1.89	0.036
1040-1027	exclu O VI	0.69	0.013
1325-1027	TOTAL	350	5.7
1025.7	H Ly-β	2.3	0.045
991.5	N III	0.33	0.007
1027.990	excl.H Ly-β,N III	2.4	0.049
977.0	C III	4.0	0.081
972.5	H Ly-γ	0.55	0.011
990-950	excl.CIII, H Ly-γ	0.97	0.021
949.7	H Ly-δ	0.25	0.005
937.8	H Ly-ε	0.17	0.004
950-920	excl. H Ly-δ-ε	1.07	0.022
920-911		1.25	0.028
1027-911	TOTAL	13.4	0.027

Figure 3. Spectre solaire (d'après Interegger)



_ Figure 4 _

Profil de la raie Lyman alpha solaire.

1 — d'aprés BRUNER et PARKER (14 Avril 1966)

2 -- d'aprés PURCELL et TOUSEY (21 Juill. 1959)

3 .... d'aprés MORTON et WIDING (théorique)

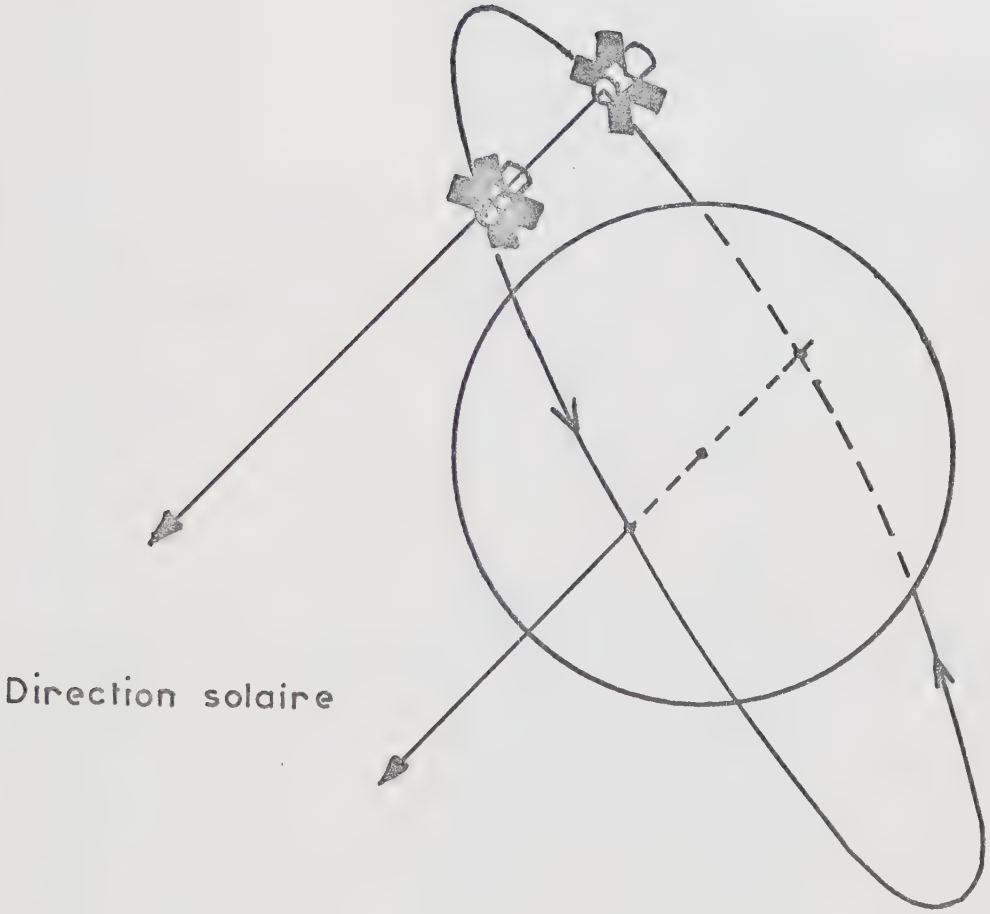
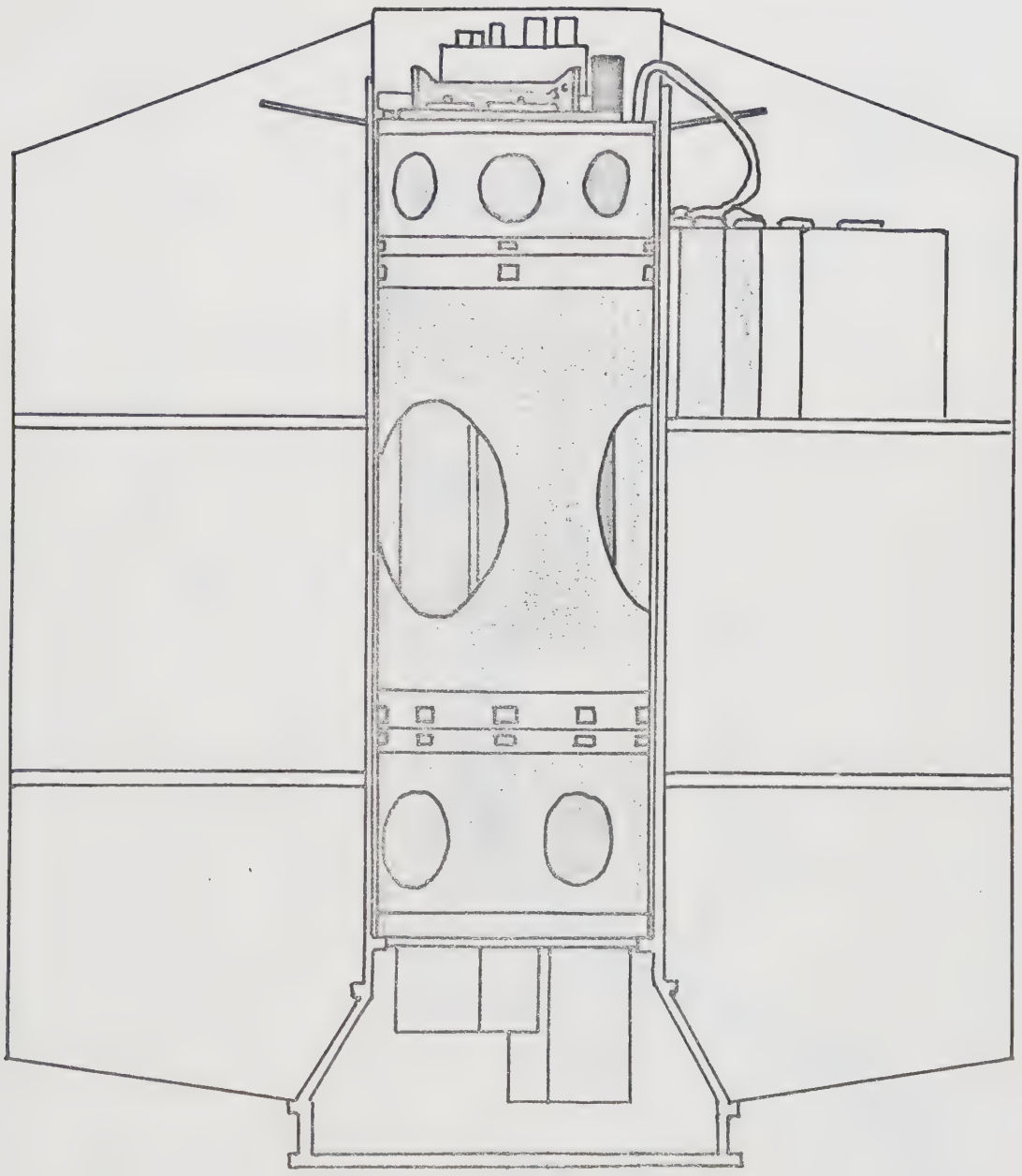
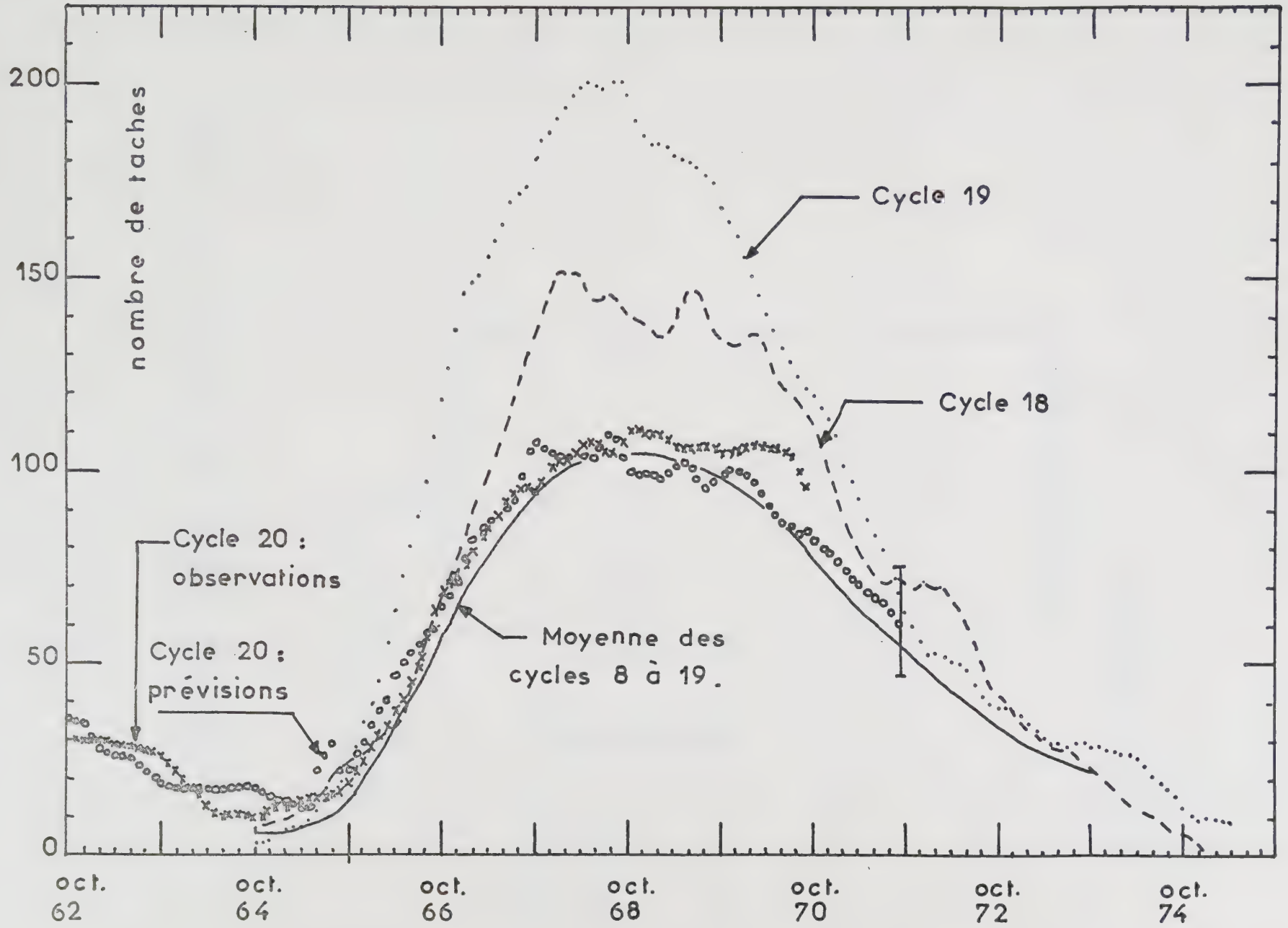


_Figure 5 _ Mesure d'épaisseurs optiques géocoronales au crépuscule _



_ Figure 6 _ Implantation de l'expérience dans le satellite.



- Figure 7 - Prévisions d'activité solaire (d'aprés Solar Geophysical Data).

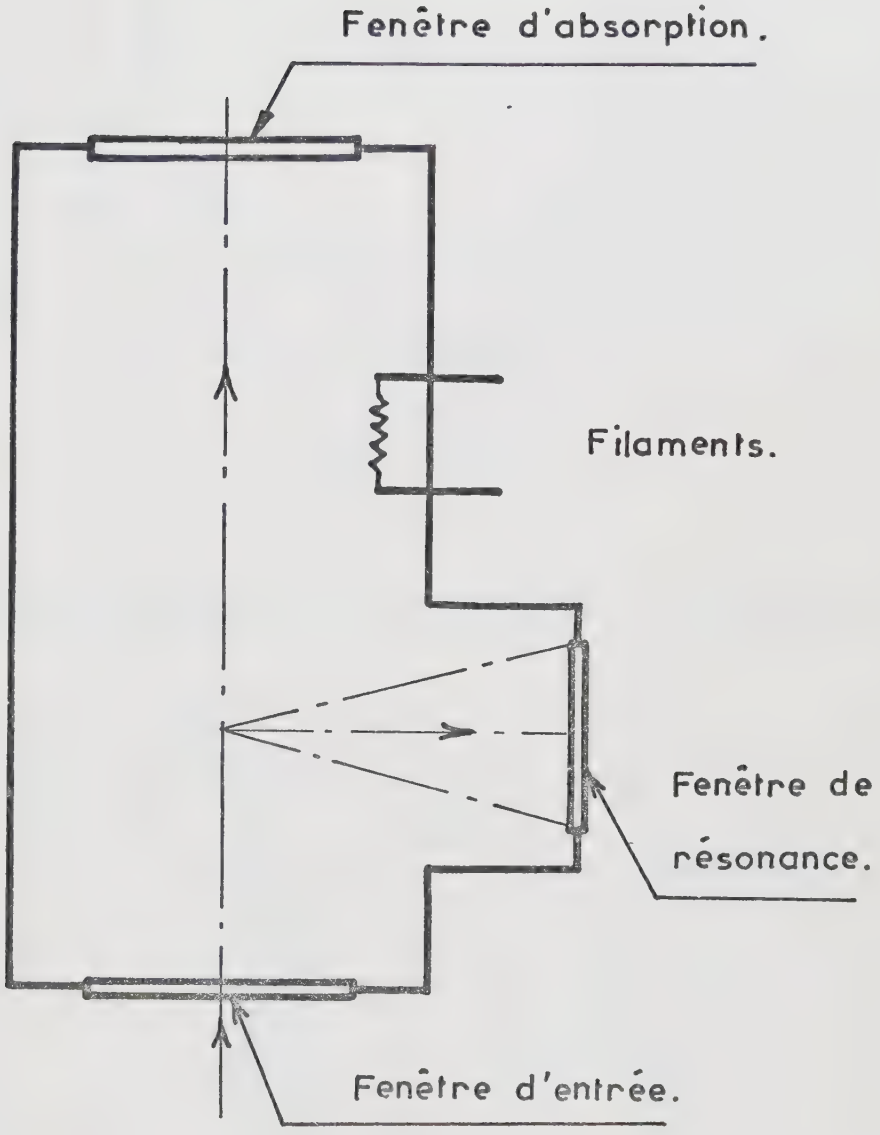
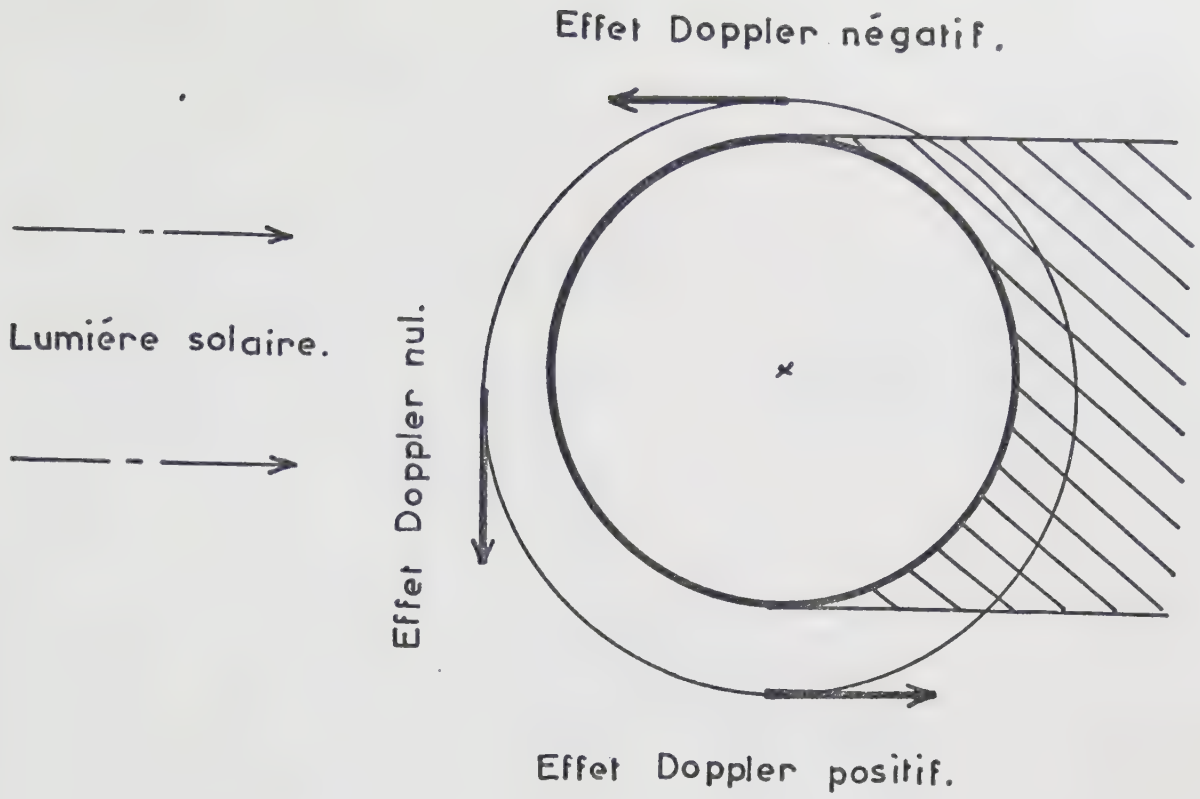
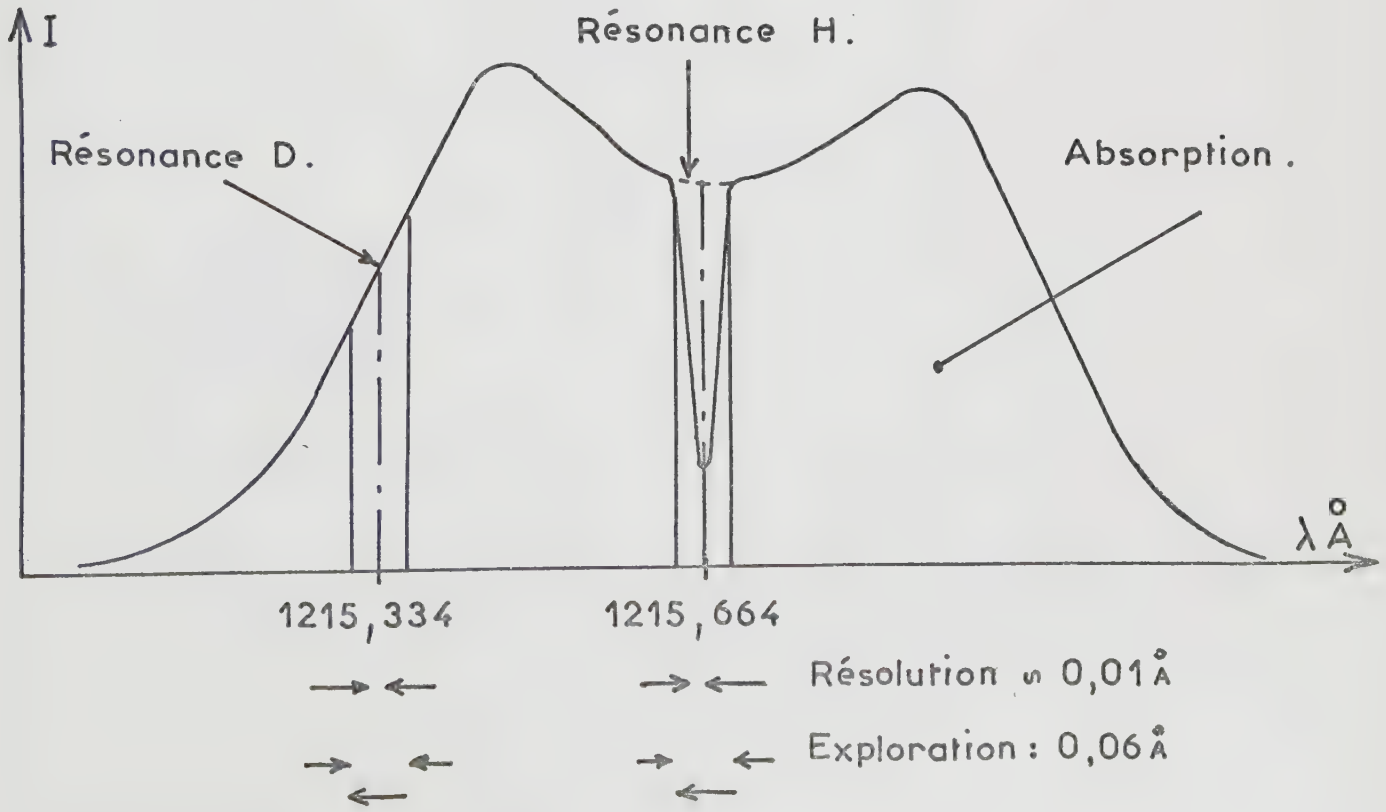


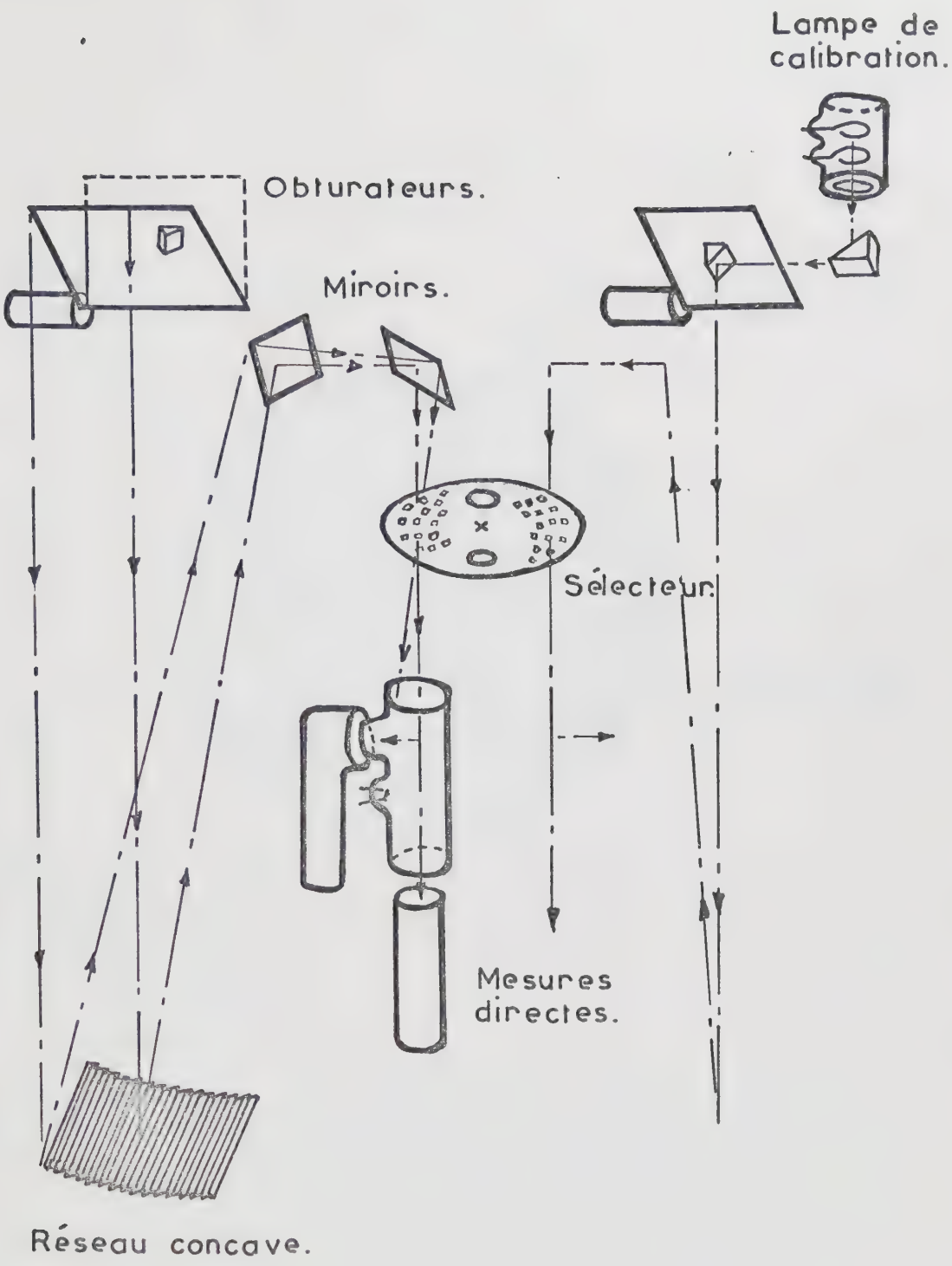
_Figure 8 _ Principe des cuves à résonance.



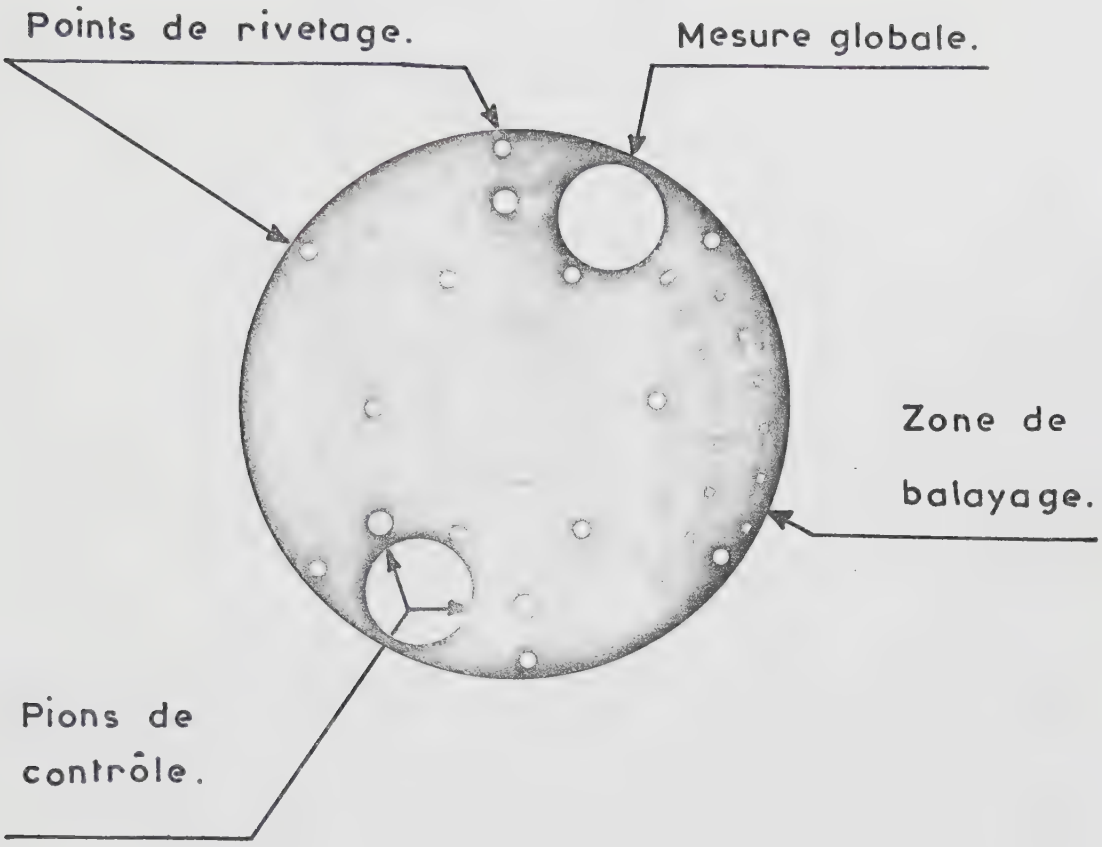
– Figure 9 – Effet Doppler du au mouvement du satellite.



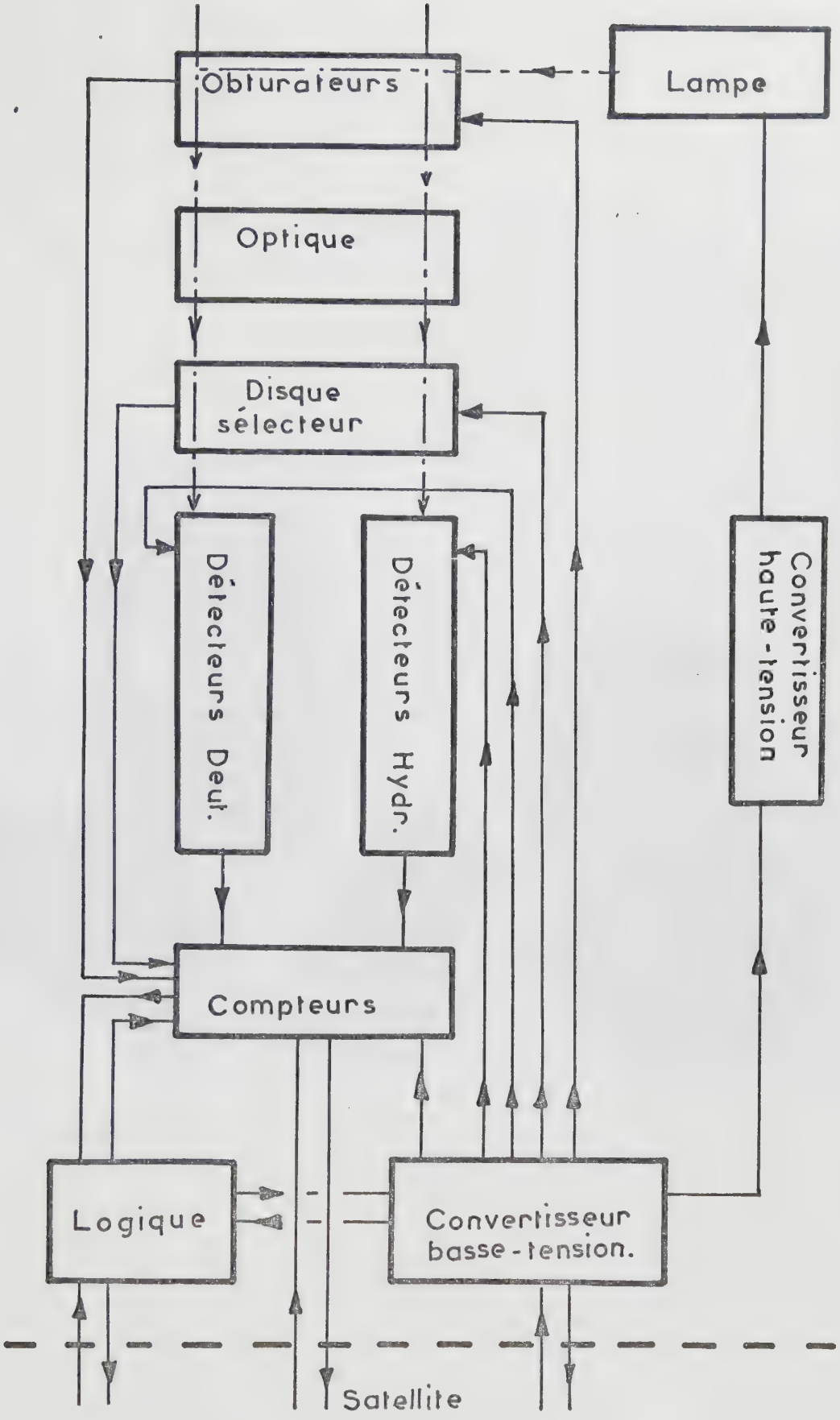
– Figure 10 – Exploration de la raie Lyman-α solaire –



_ Figure 11 _ Schéma optique de l'expérience.



- Figure 12 - Reproduction du disque sélecteur -
(Grandeur réelle).



- Figure 13 - Synoptique de l'expérience -

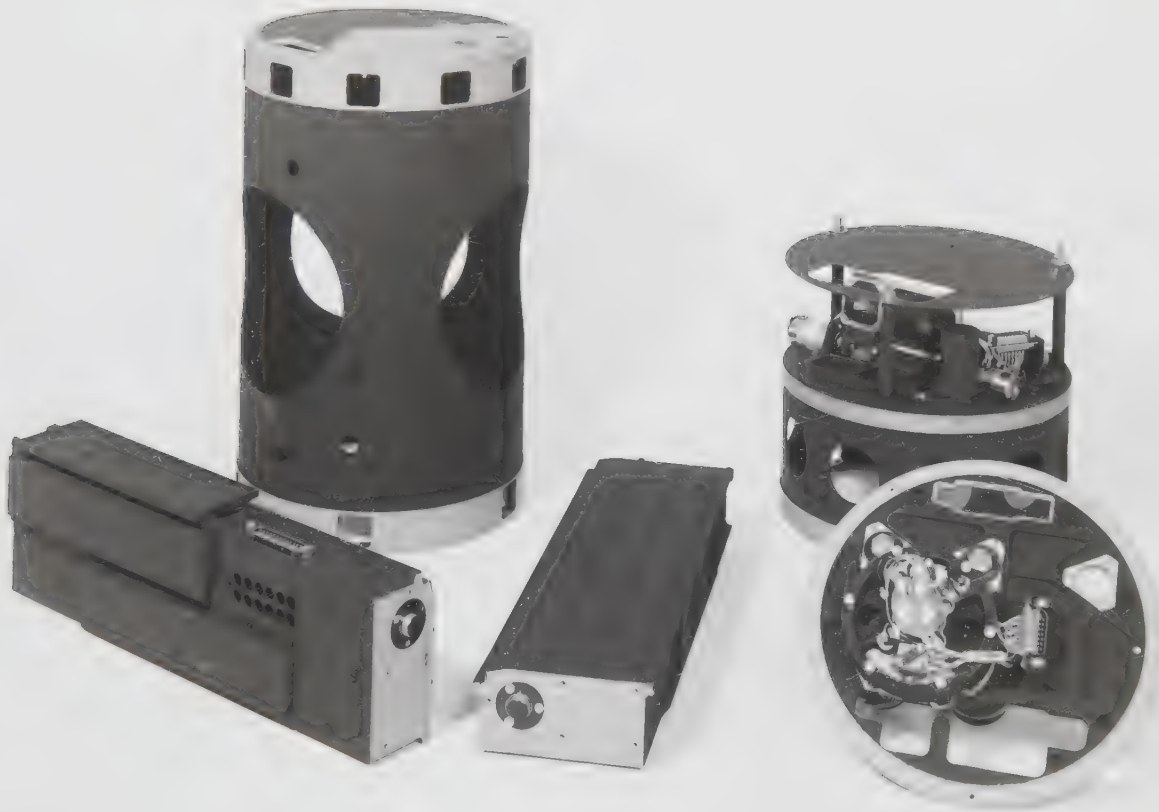


Fig. 14 - Photographie de la structure de l'expérience -

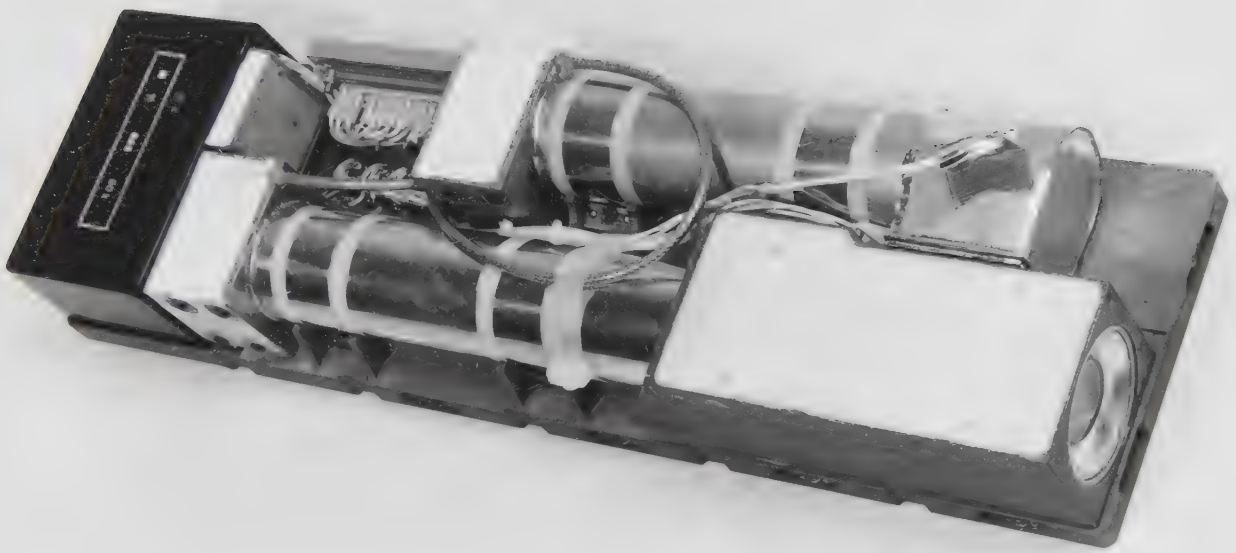


Fig. 15 - Photographie d'un boitier détecteur ouvert -

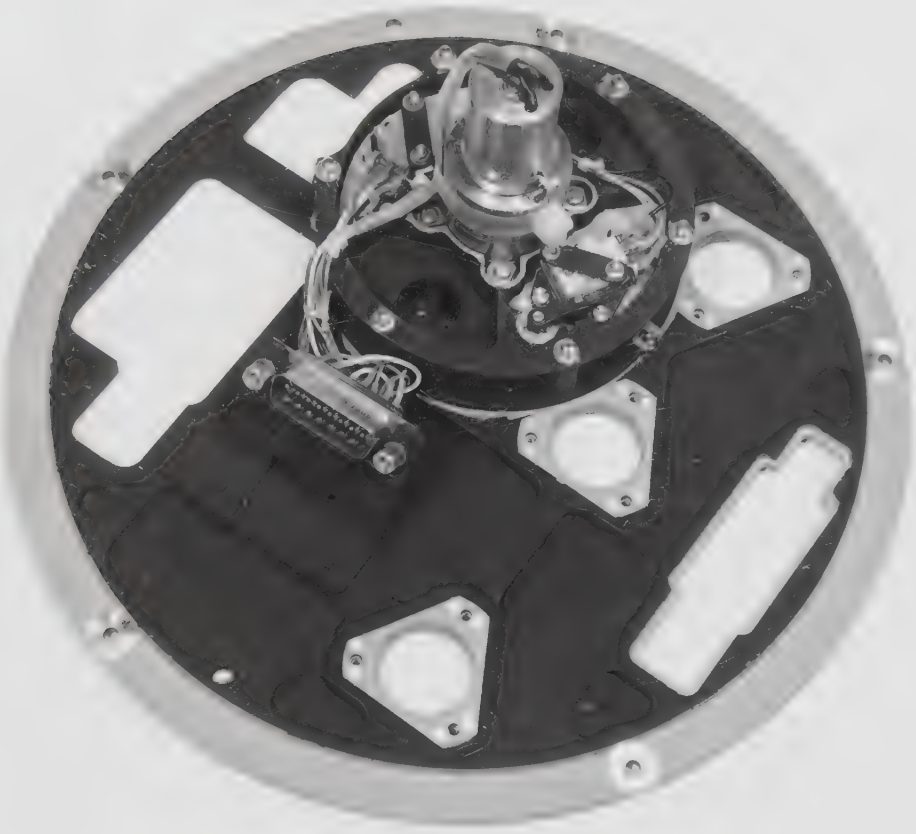


Fig. 16 - Photographie du mécanisme sélecteur d'images -

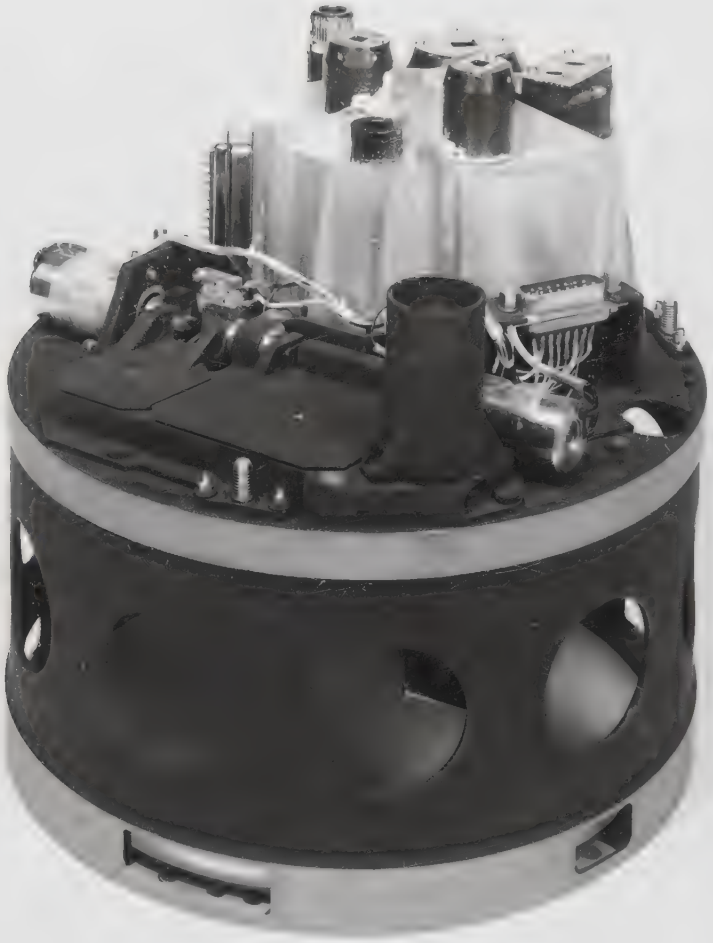
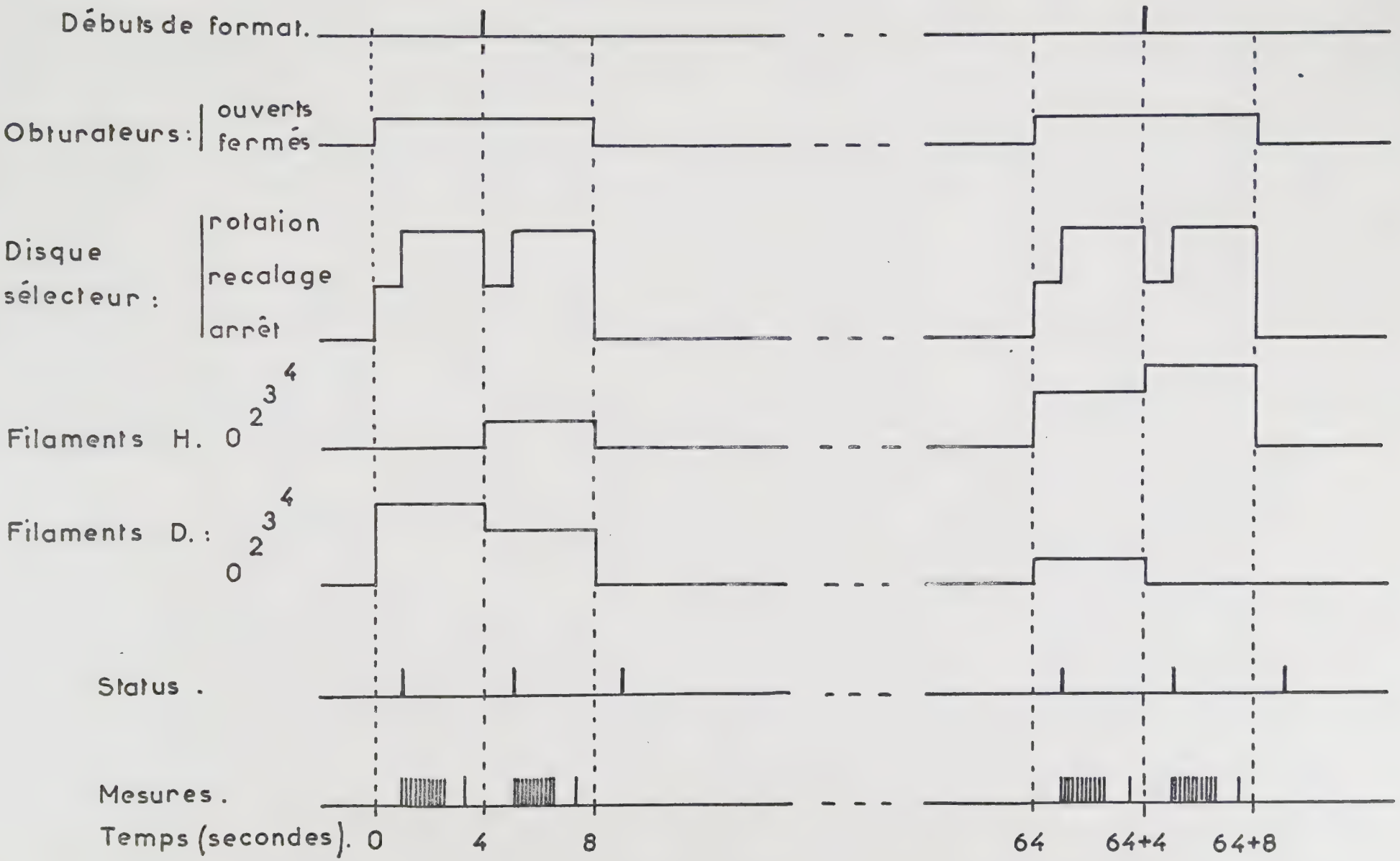


Fig. 17 - Photographie du mécanisme
d'obturation et de calibration -



_ Figure 18 _ Cycle de fonctionnement normal de l'expérience .

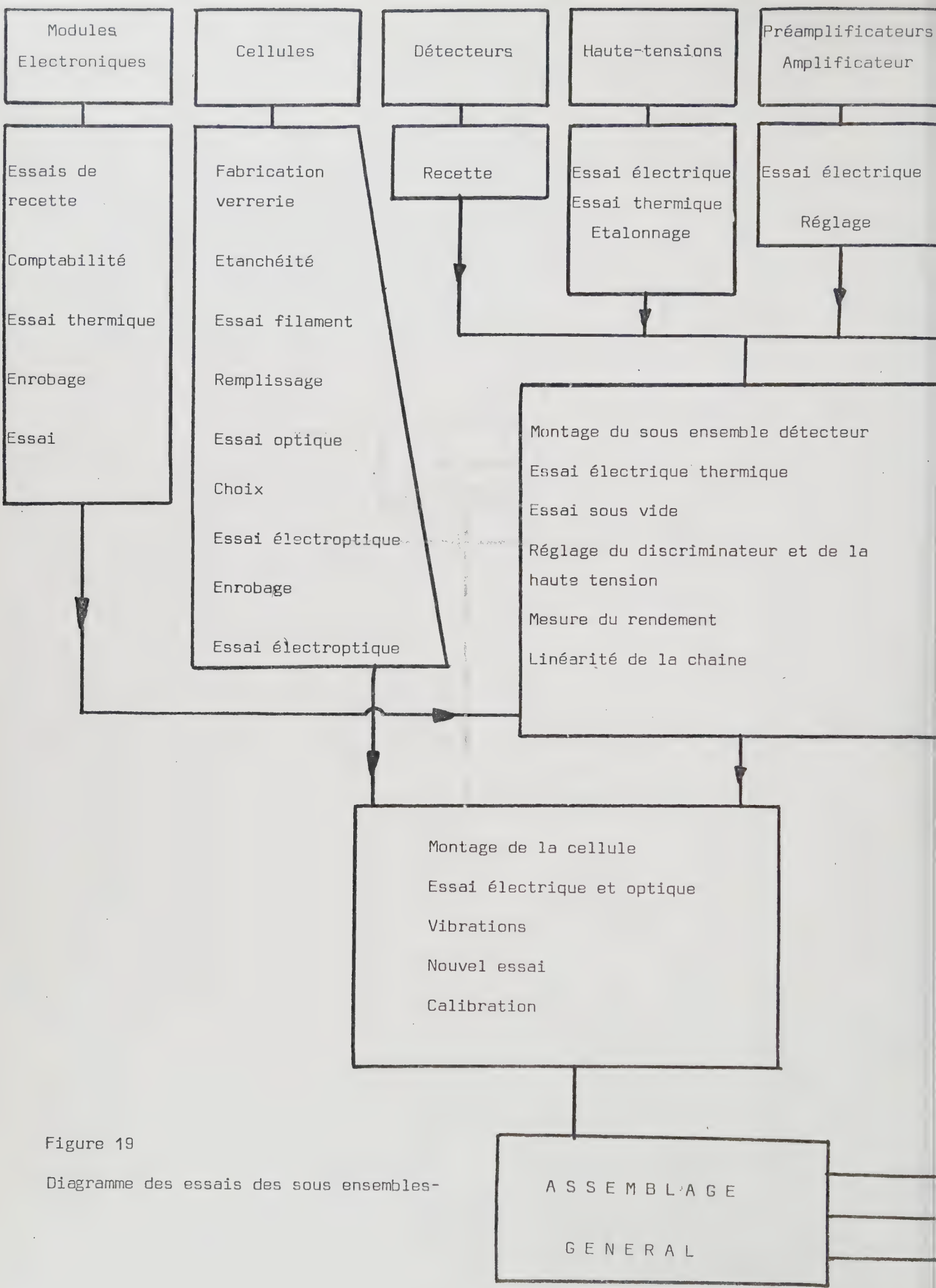
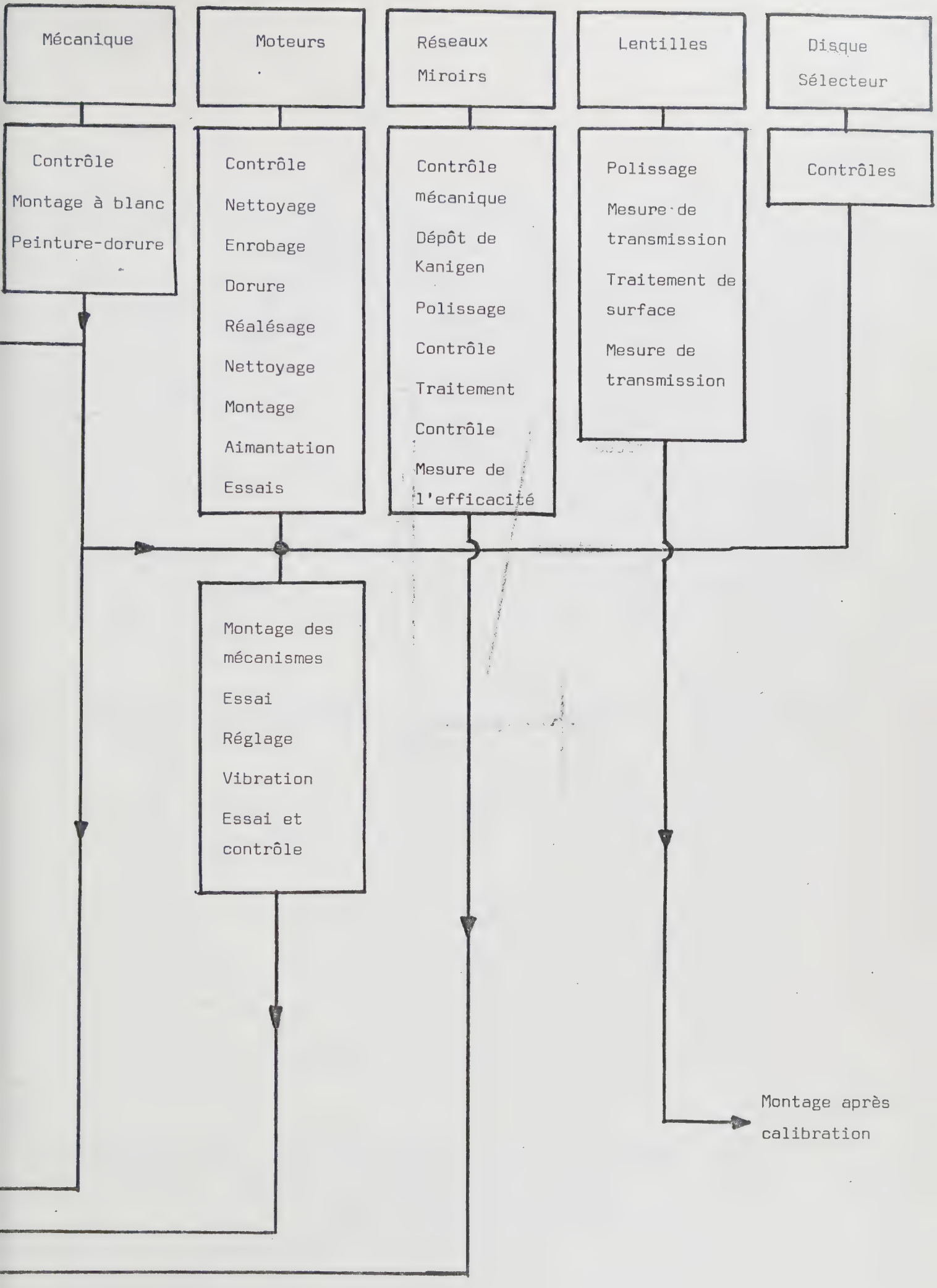


Figure 19

Diagramme des essais des sous ensembles-


Mécanique
Moteurs
Réseaux
Miroirs
Lentilles
Disque
Sélecteur
Contrôle
Montage à blanc
Peinture-dorure
Contrôle
Nettoyage
Enrobage
Dorure
Réalésage
Nettoyage
Montage
Aimantation
Essais
Contrôle
mécanique
Dépôt de
Kanigen
Polissage
Contrôle
Traitement
Contrôle
Mesure de
l'efficacité
Polissage
Mesure de
transmission
Traitement de
surface
Mesure de
transmission
Contrôles
Montage des
mécanismes
Essai
Réglage
Vibration
Essai et
contrôle
Montage après
calibration

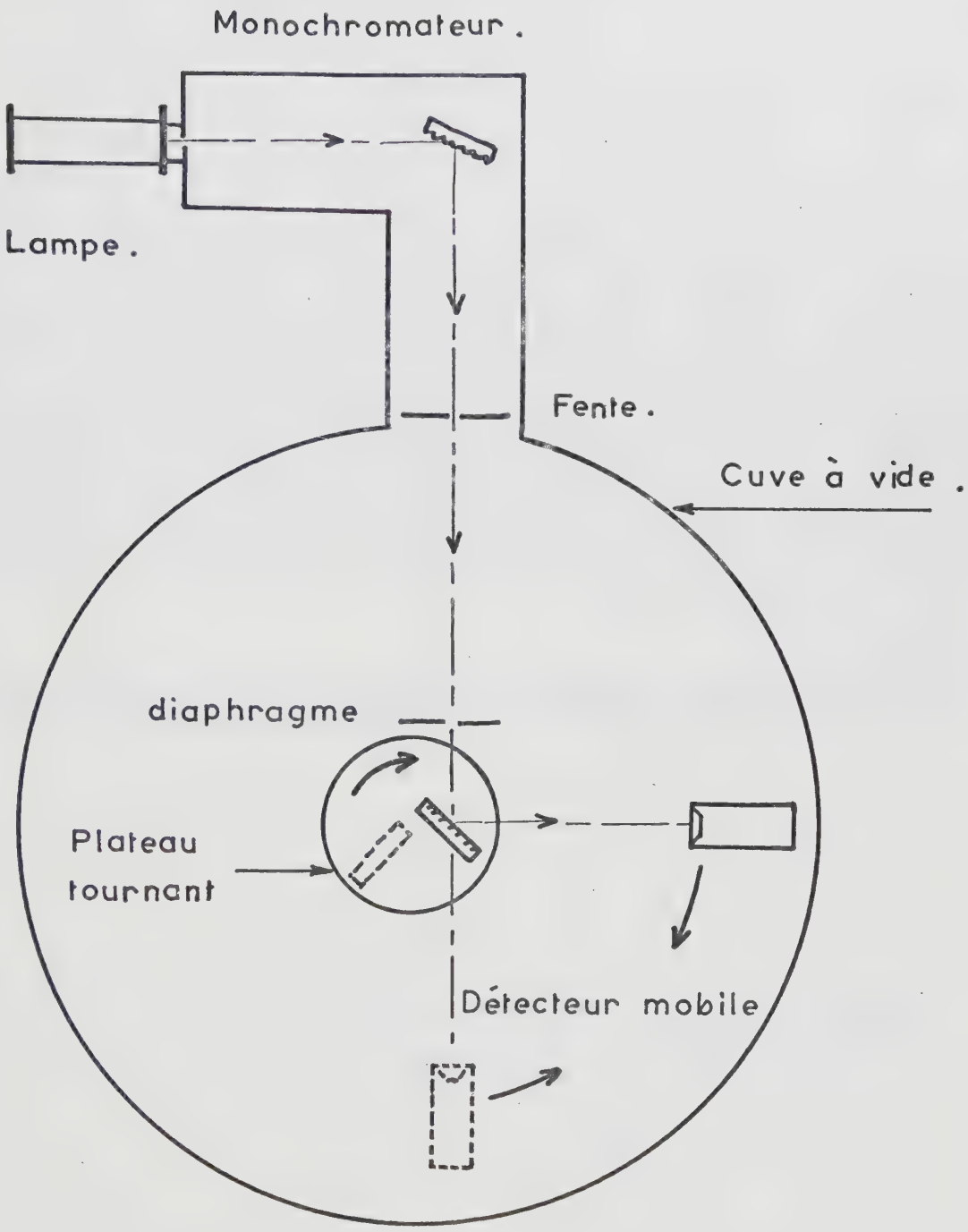
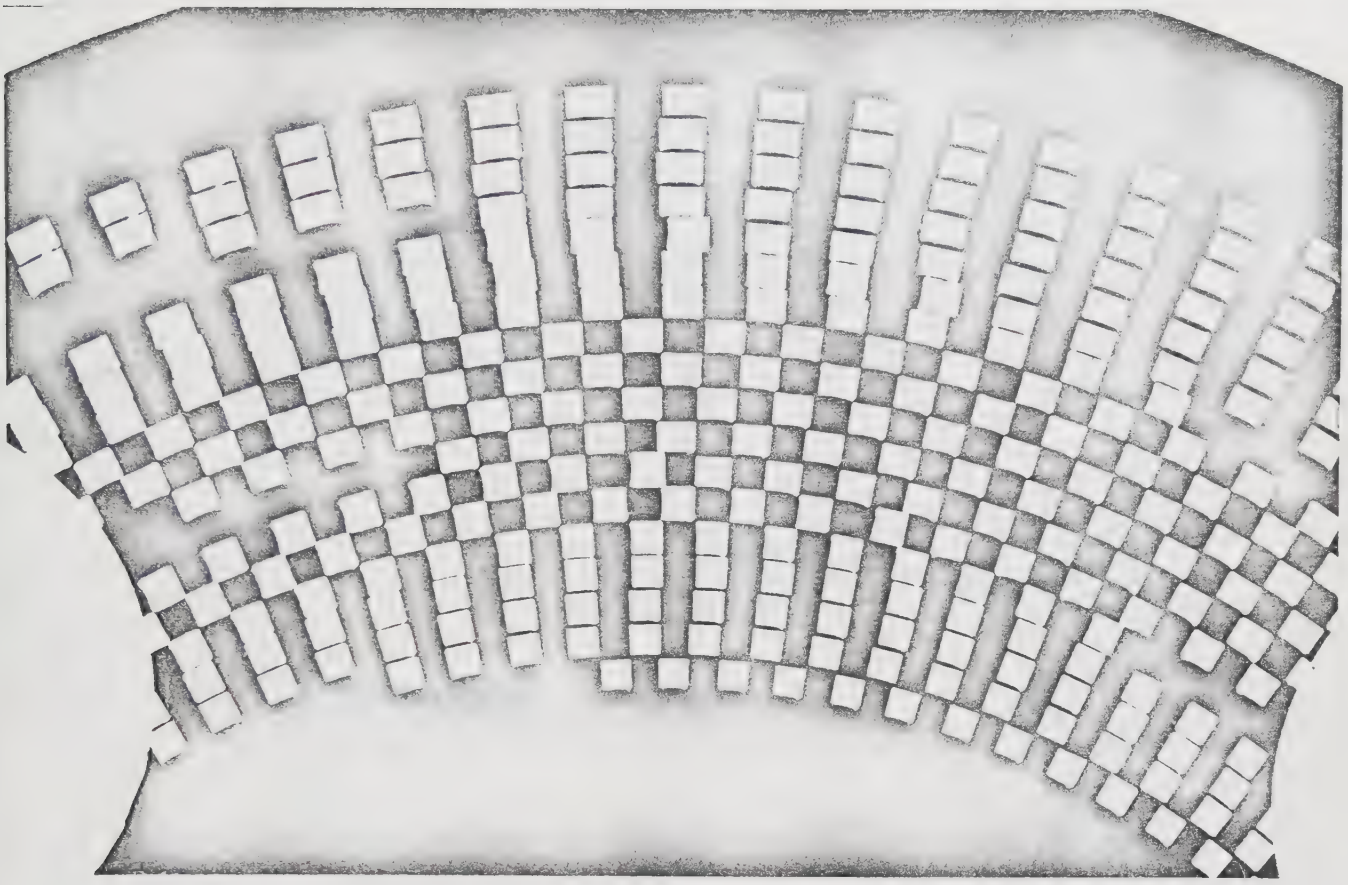


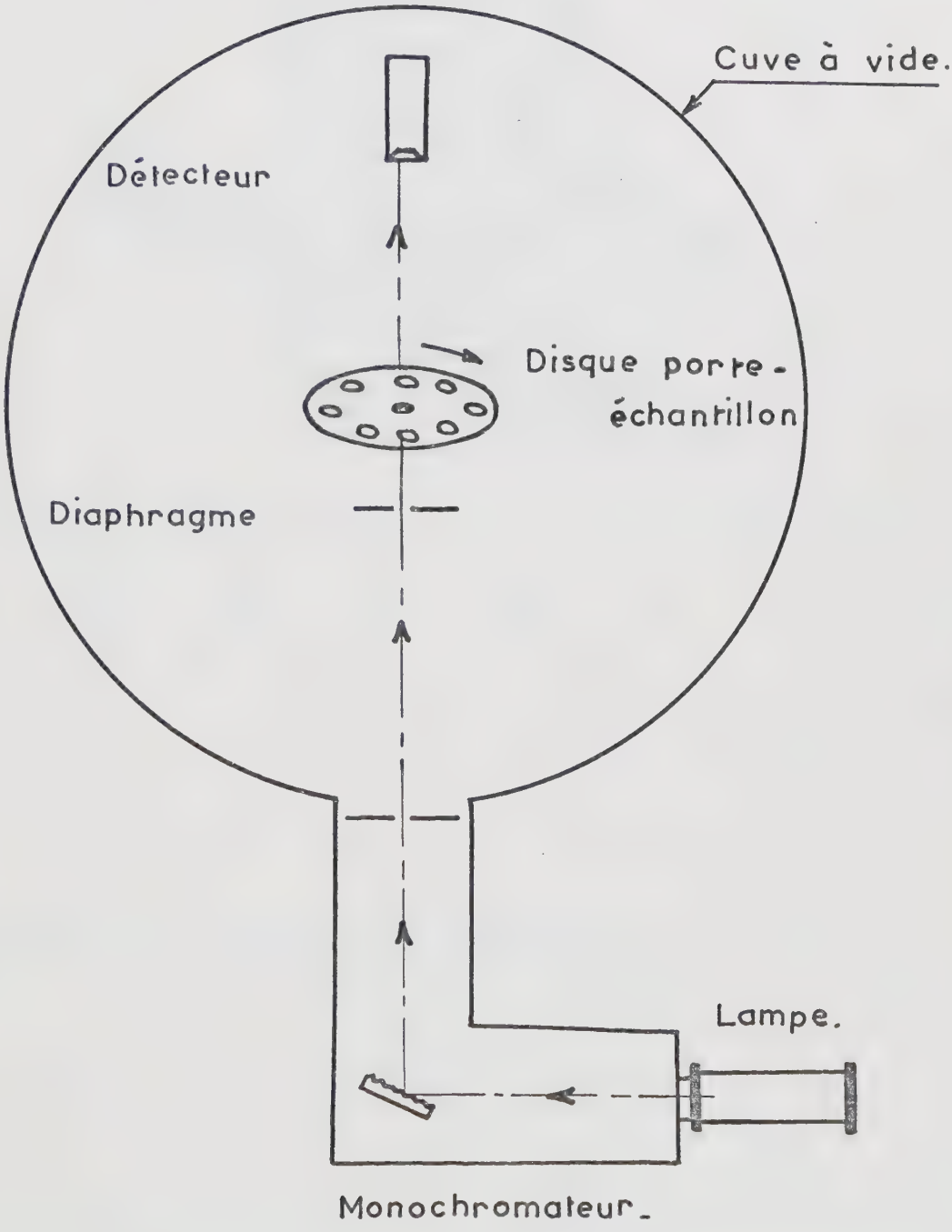
_Figure 20 _ Contrôle des miroirs et réseaux en ultra-violet lointain _



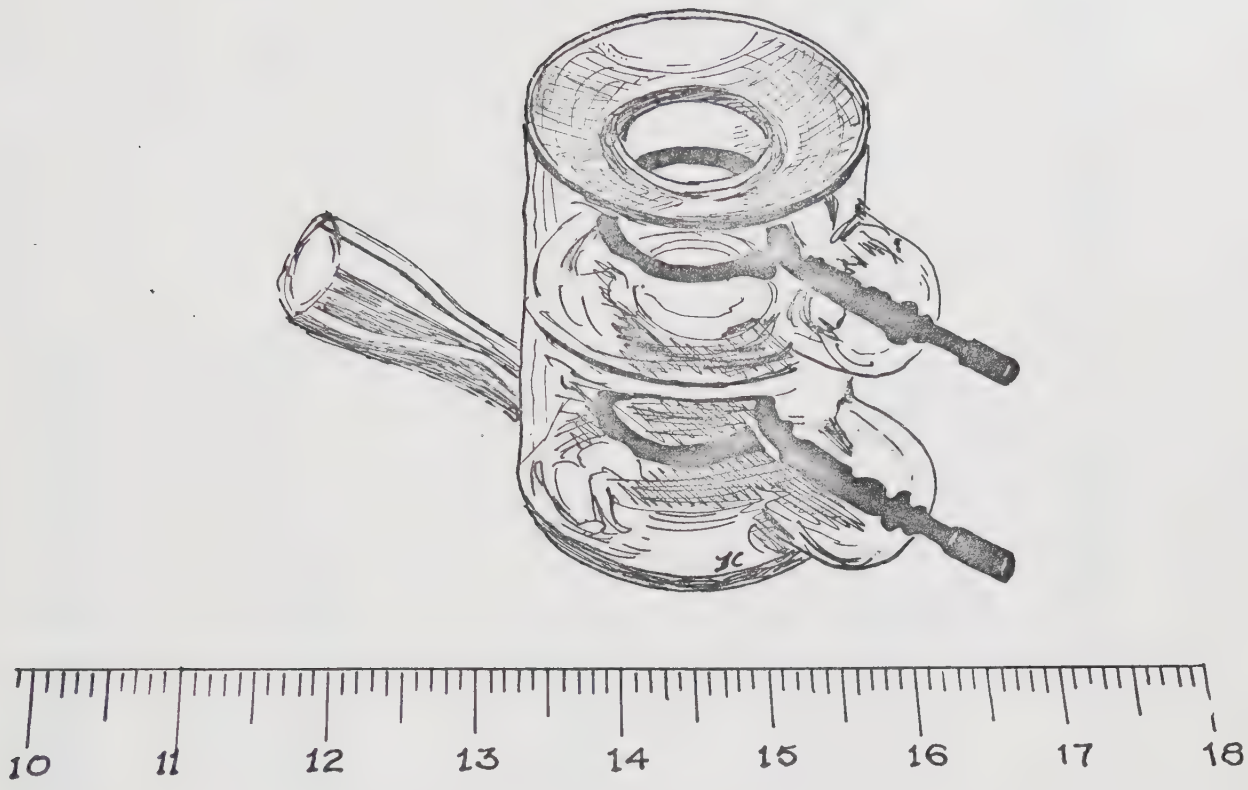
_ Figure 21 _

Premier essai de perçage d'un disque sélecteur.

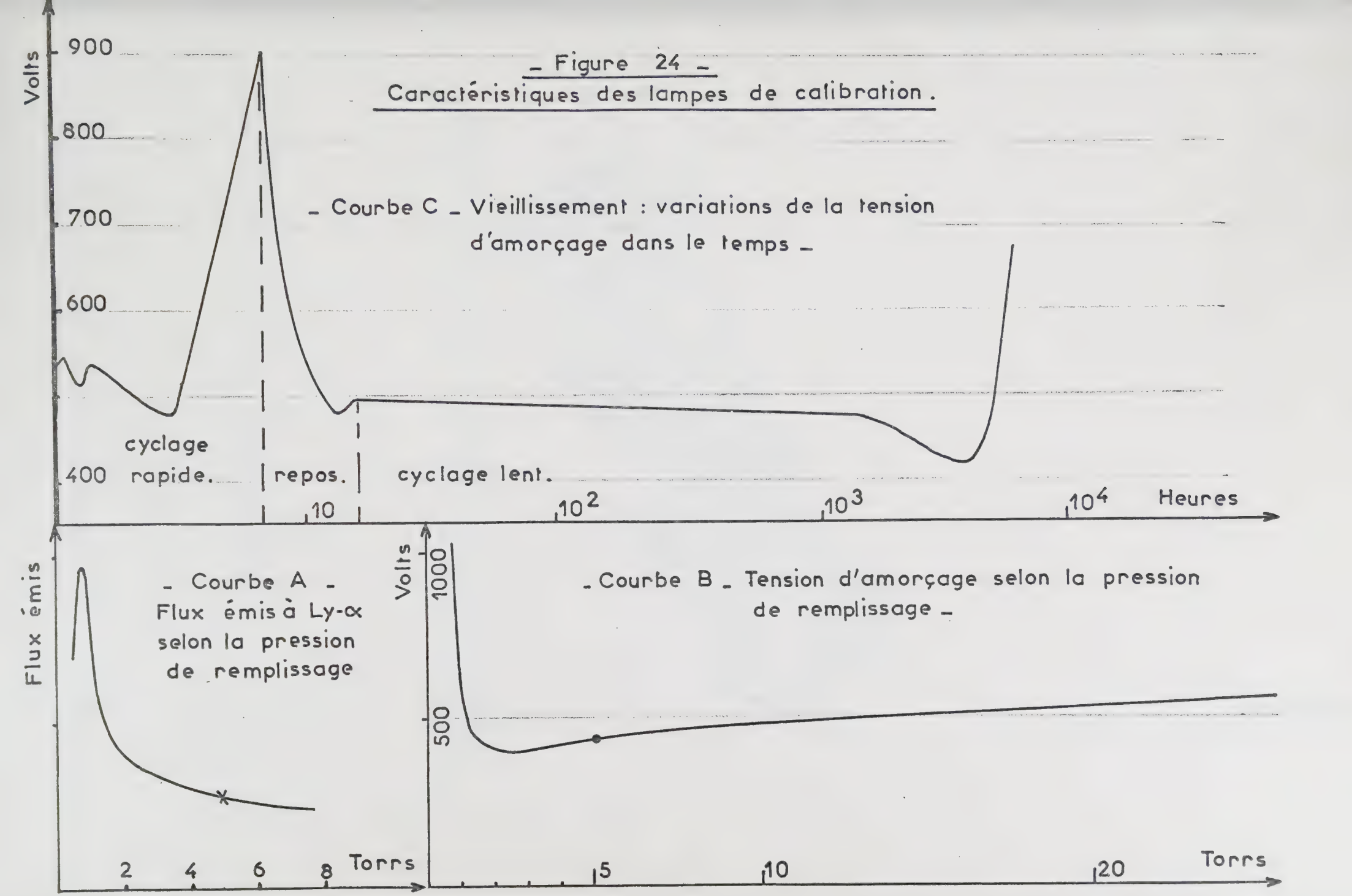
Photographie en rotation par pas doubles.



_ Figure 22 _ Mesure de transmission _



- Figure 23 - Lampe de calibration -



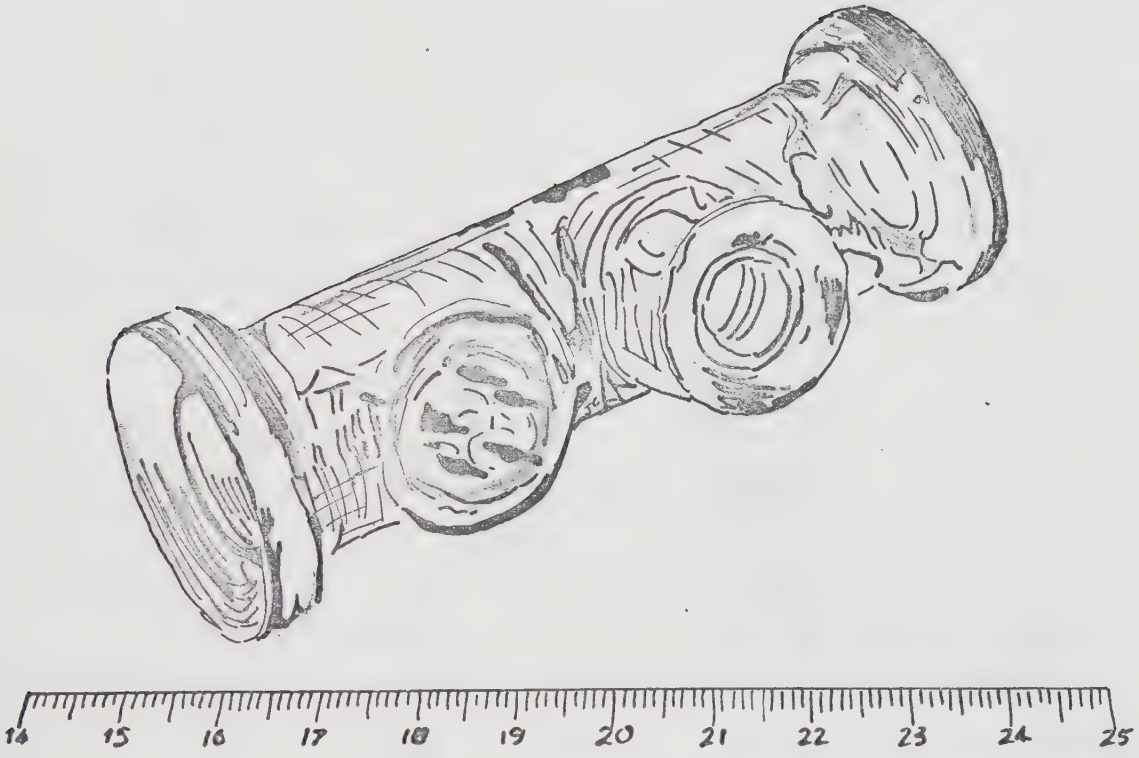
_ Figure 24 _

Caractéristiques des lampes de calibration.

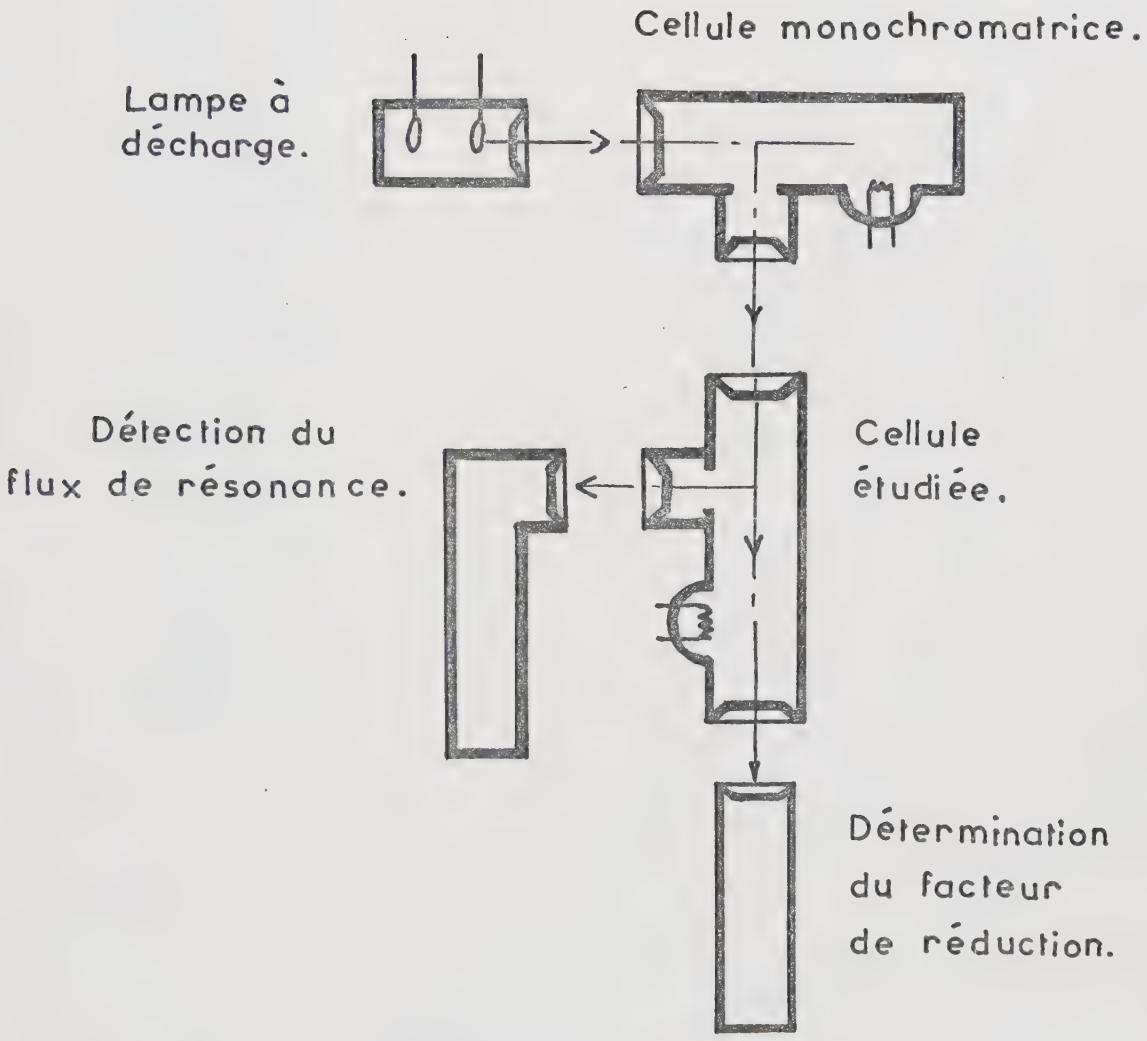
_ Courbe C _ Vieillissement : variations de la tension d'amorçage dans le temps _

_ Courbe A _ Flux émis à Ly-α selon la pression de remplissage

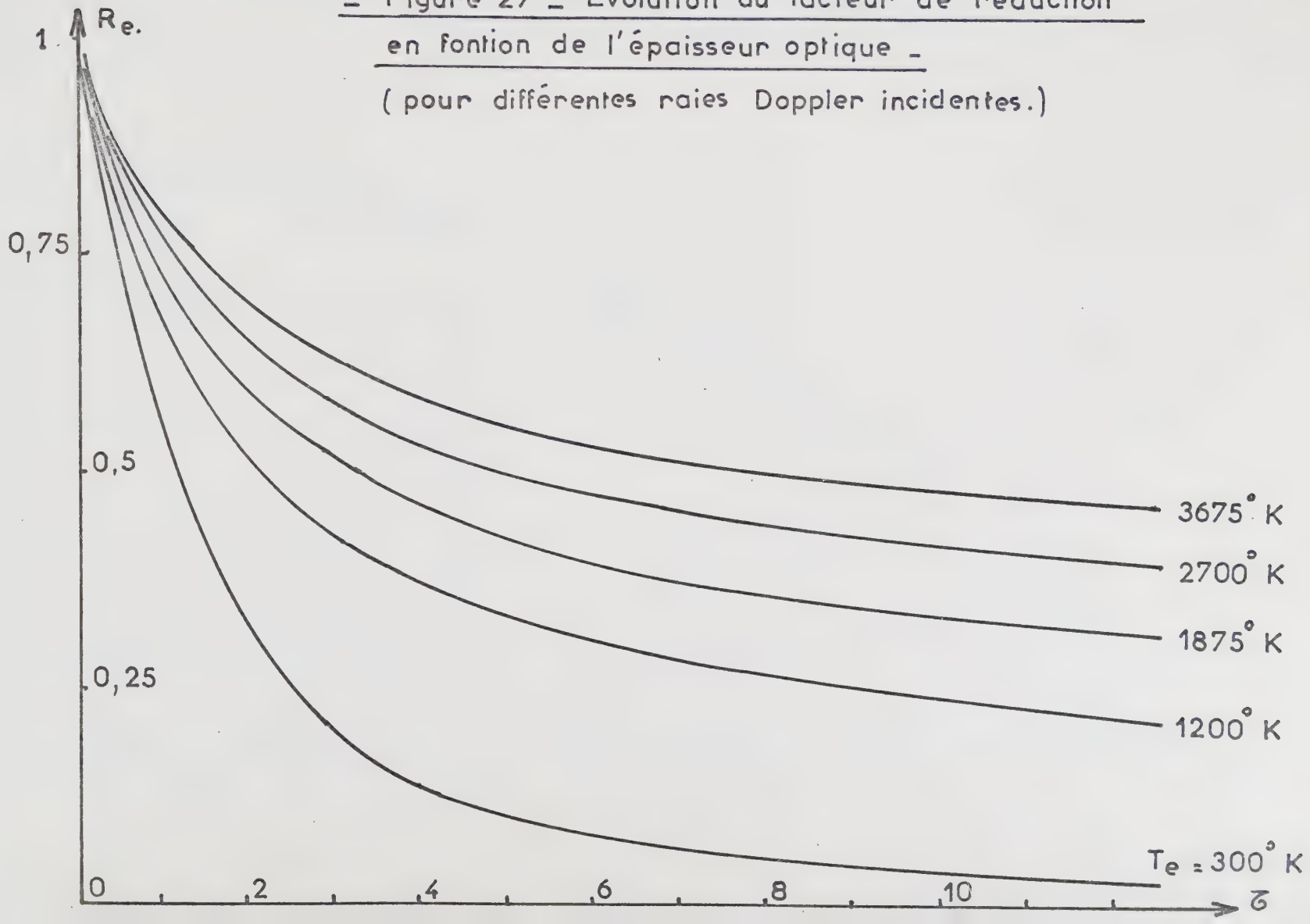
_ Courbe B _ Tension d'amorçage selon la pression de remplissage _



_ Figure 25 _ Cellule à résonance _

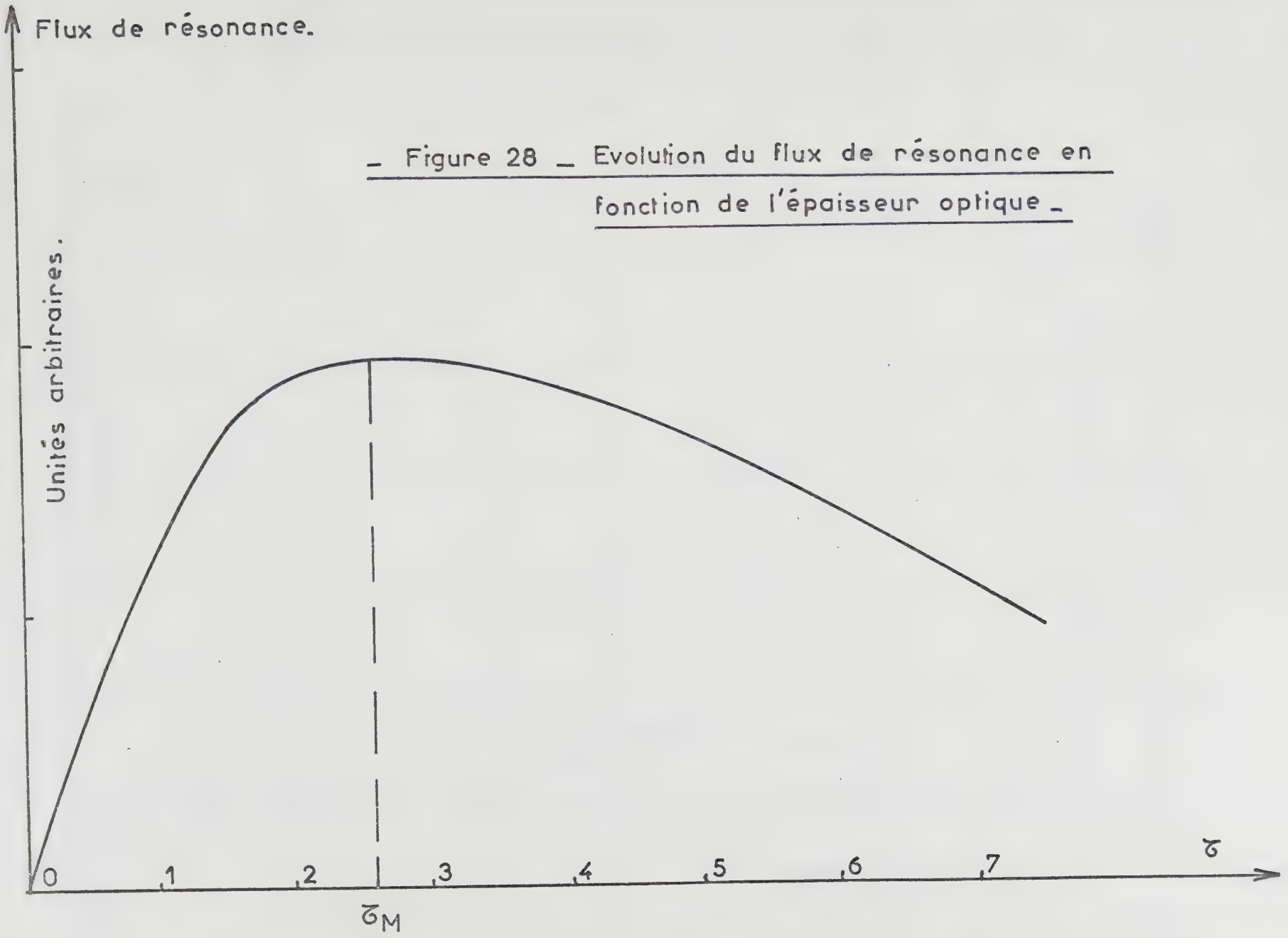


_ Figure 26 _ Mesure de la transmission et du facteur de réduction d'une cellule à résonance _

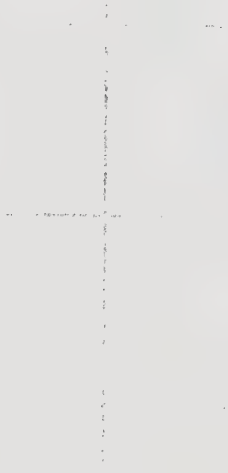


_ Figure 27 _ Evolution du facteur de réduction en fonction de l'épaisseur optique _

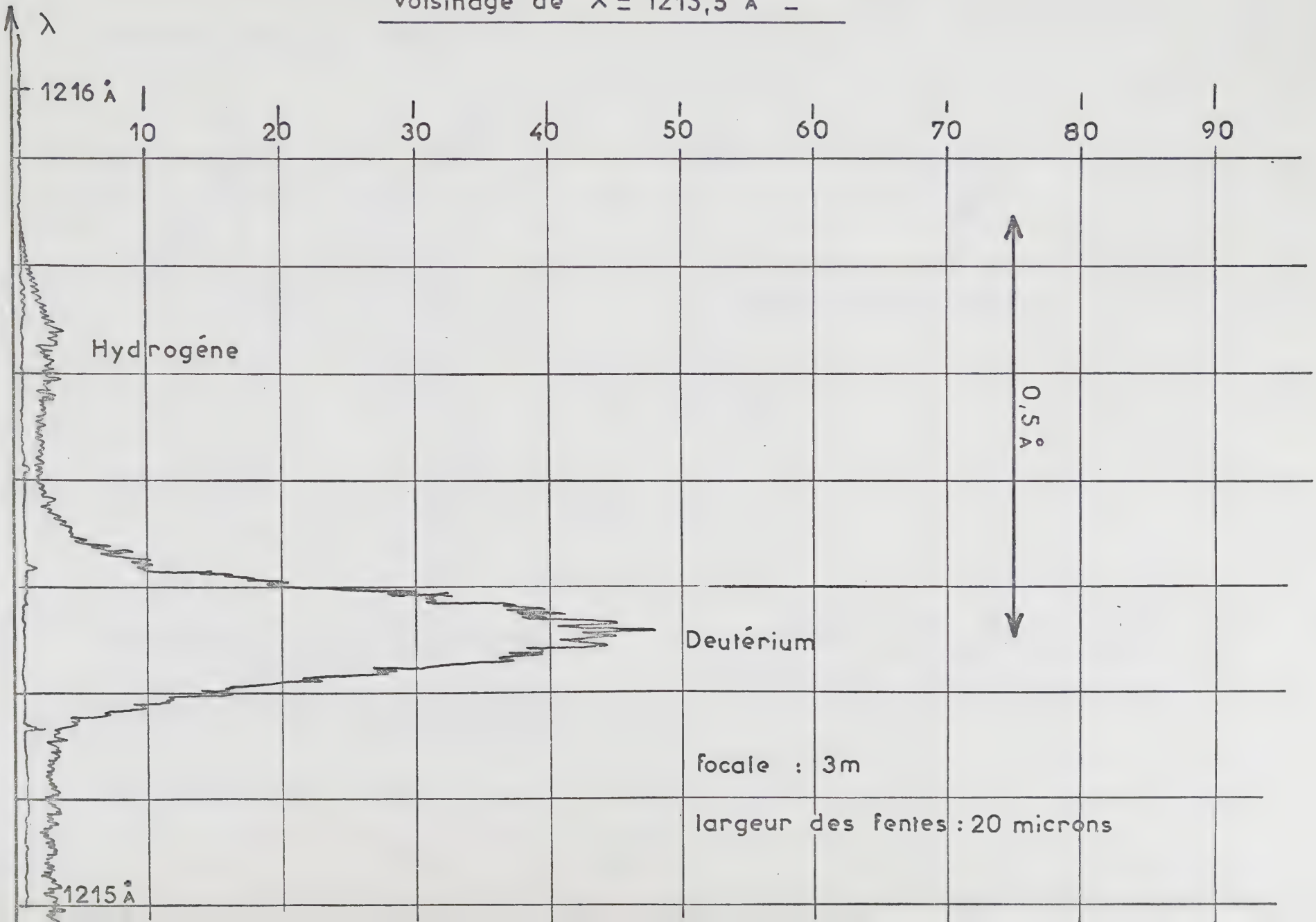
(pour différentes raies Doppler incidentes.)

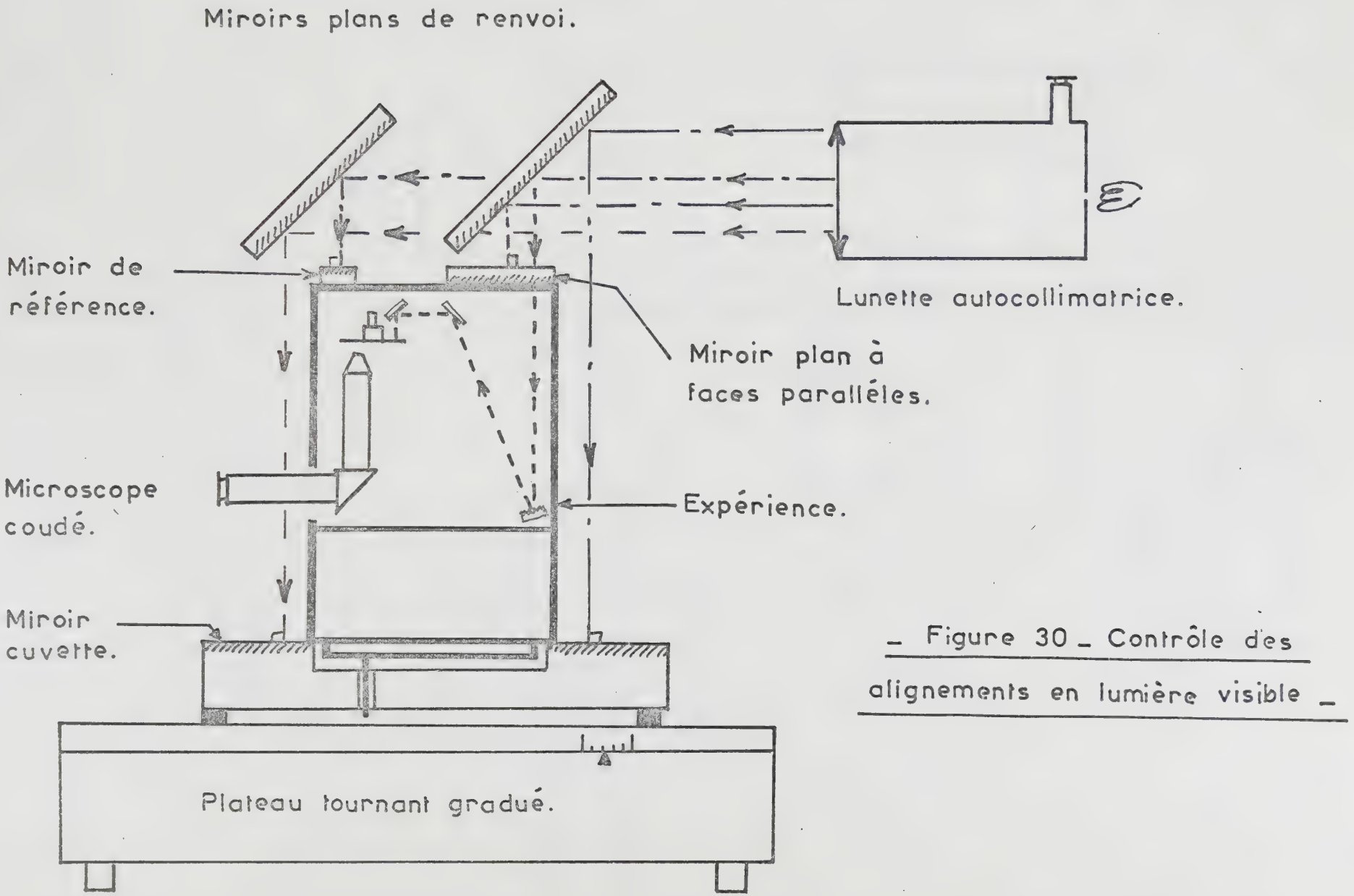


_ Figure 28 _ Evolution du flux de résonance en fonction de l'épaisseur optique _

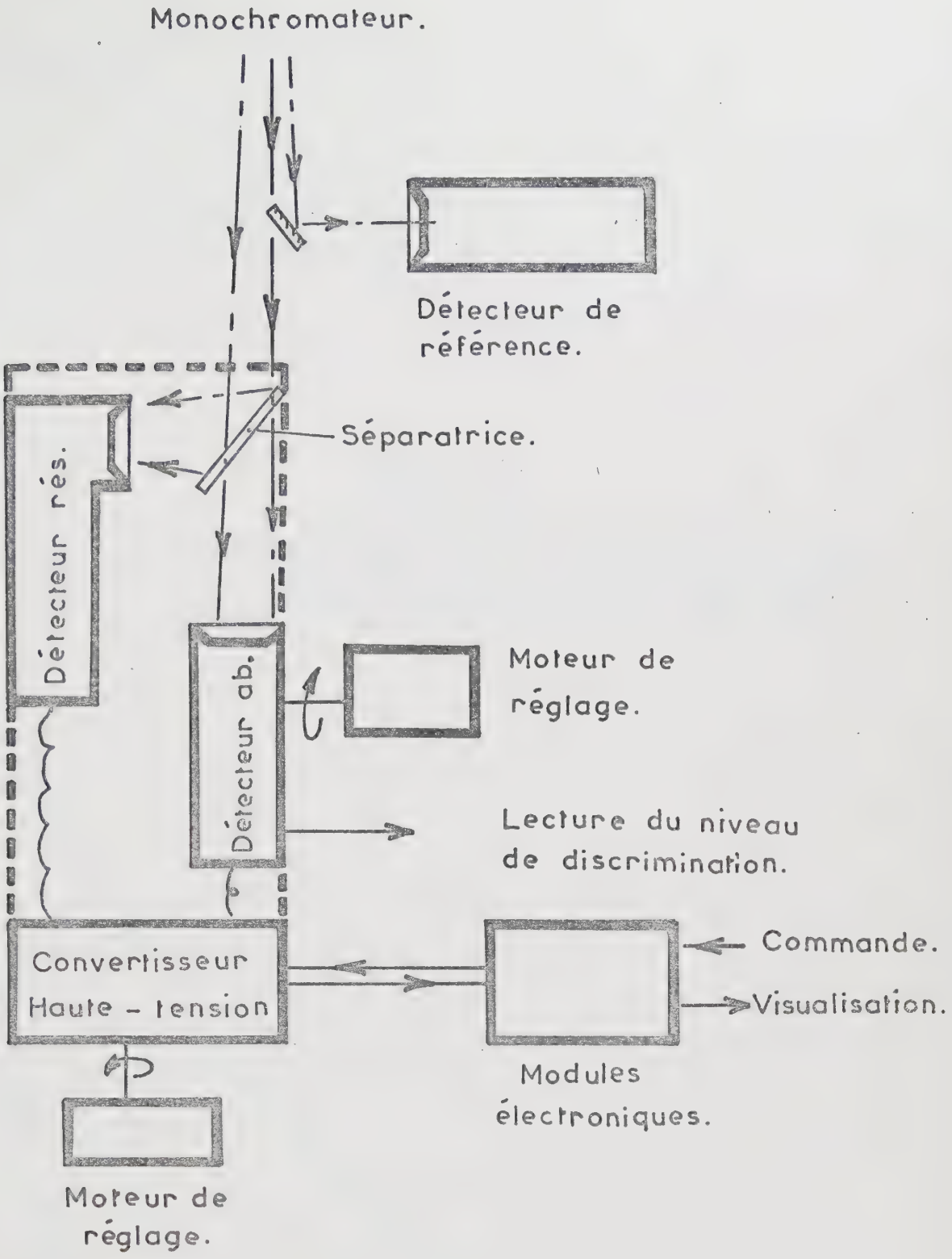


– Figure 29 – Spectre d'une lampe à deutérium au voisinage de $\lambda = 1215{,}5$ Å –

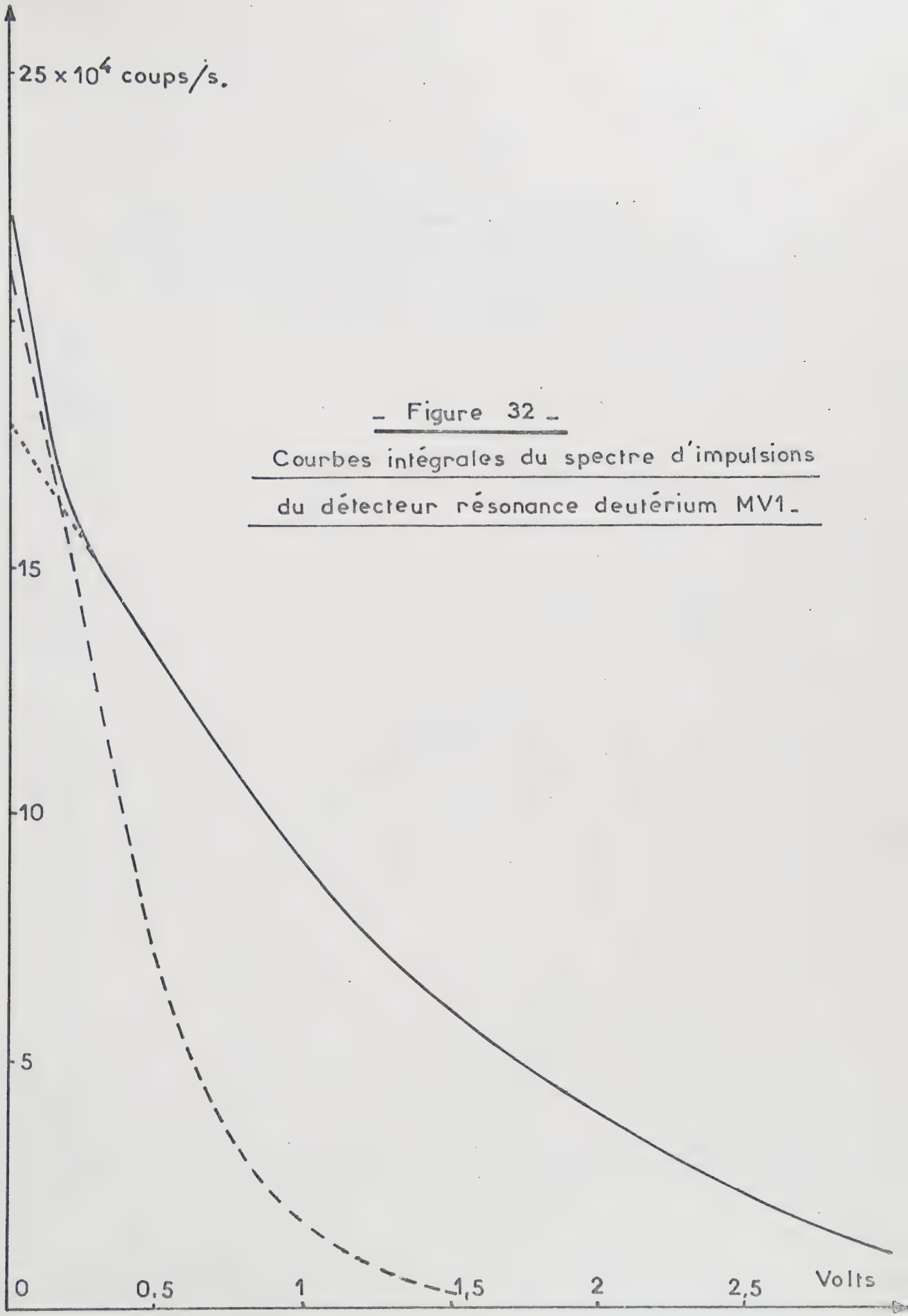




_ Figure 30 _ Contrôle des alignements en lumière visible _



- Figure 31 - Montage d'éssais et de réglage des boitiers détecteurs.



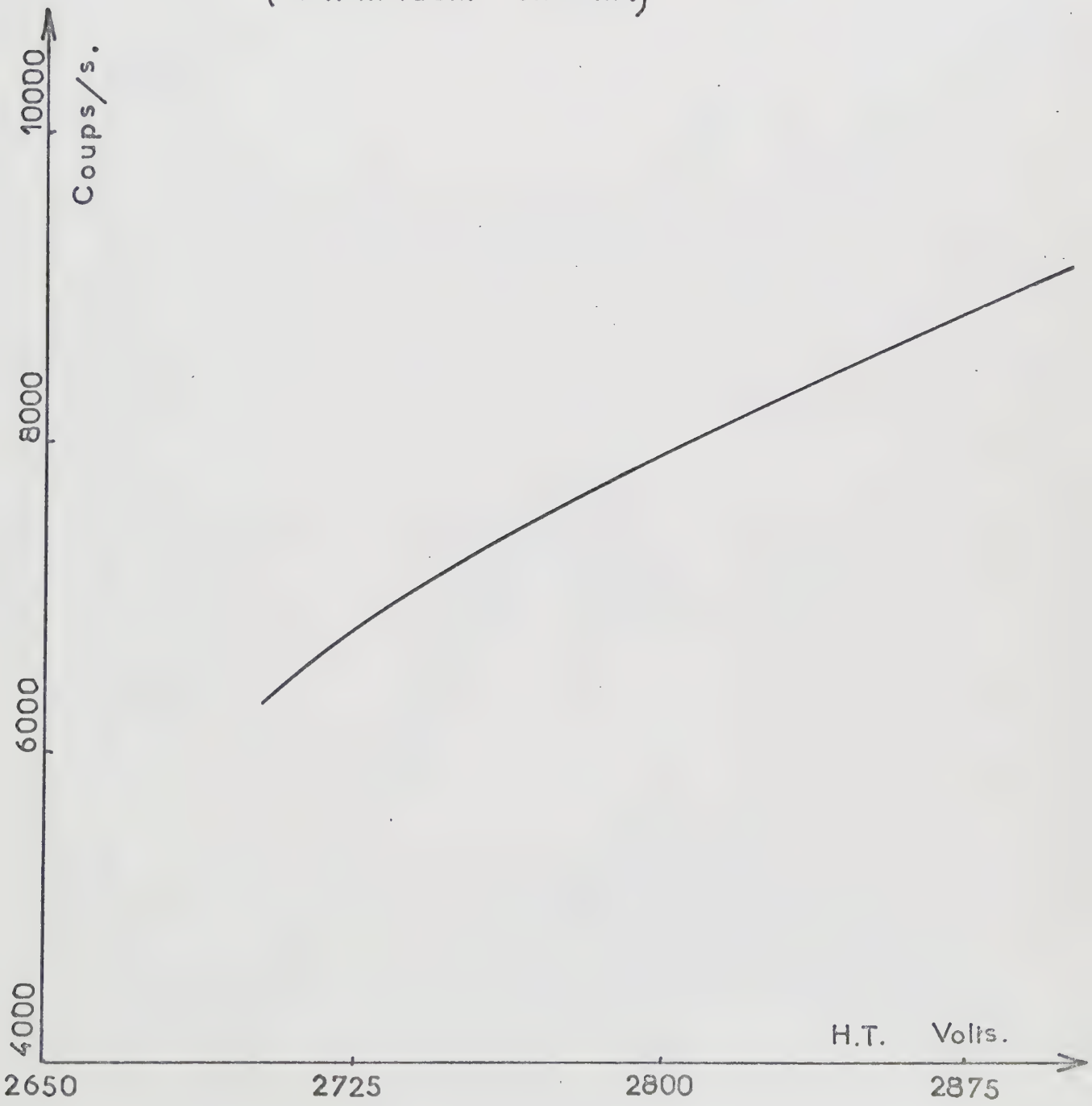
- Figure 32 -

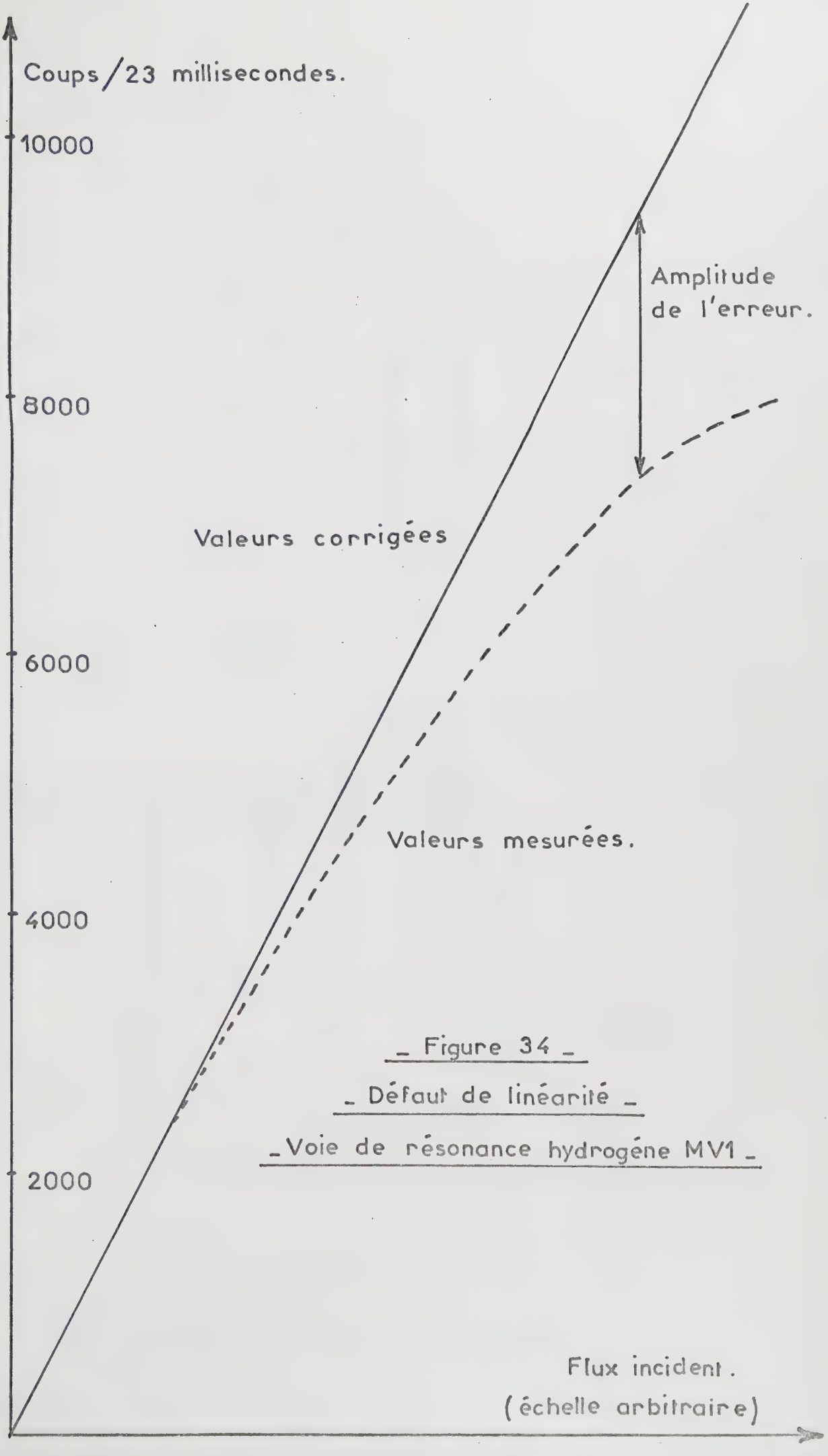
Courbes intégrales du spectre d'impulsions du détecteur résonance deutérium MV1.

_ Figure 33 _

Signal détecté en fonction de la haute tension appliquée au photomultiplicateur _

(flux incident constant.)

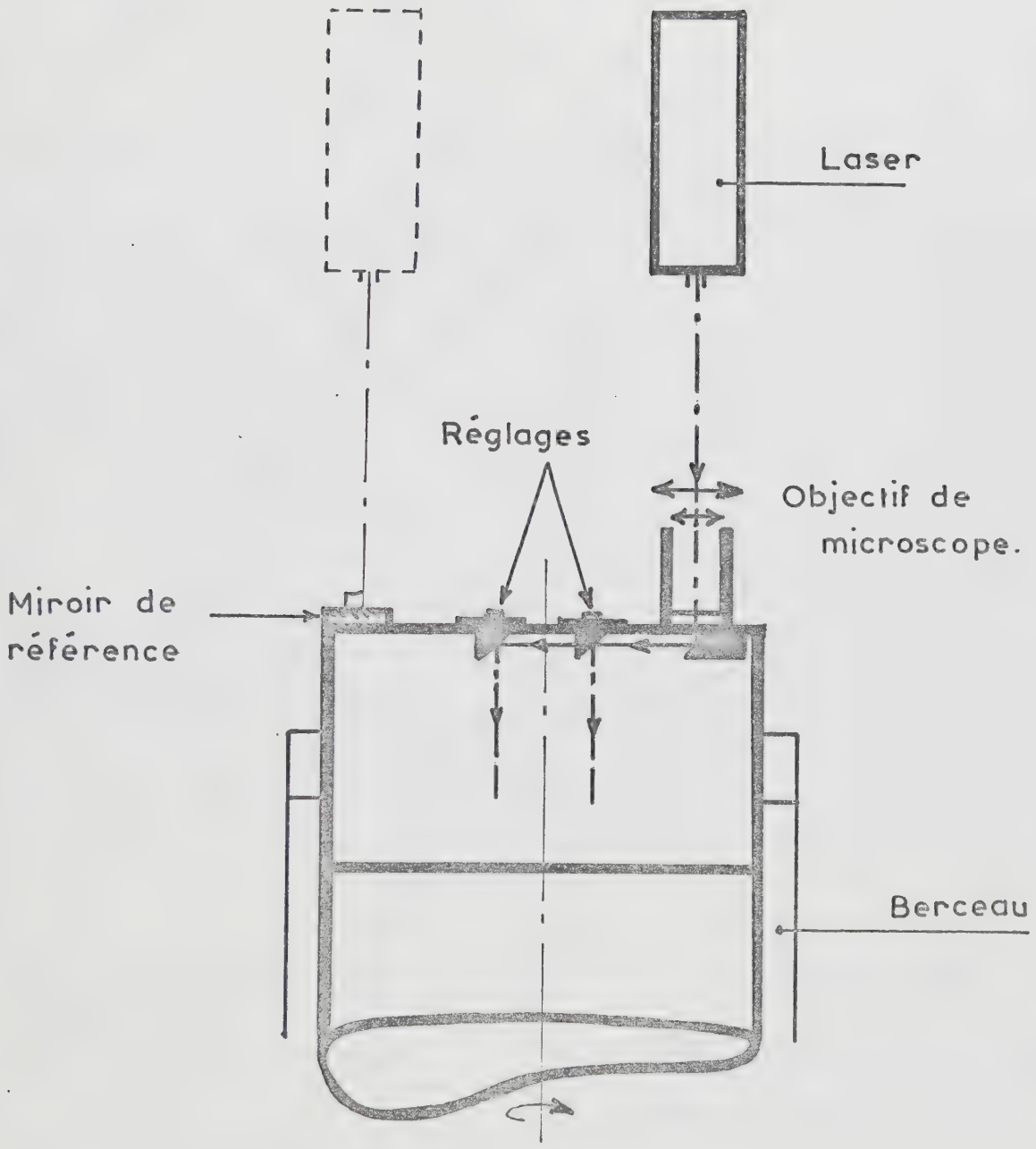




_ Figure 34 _

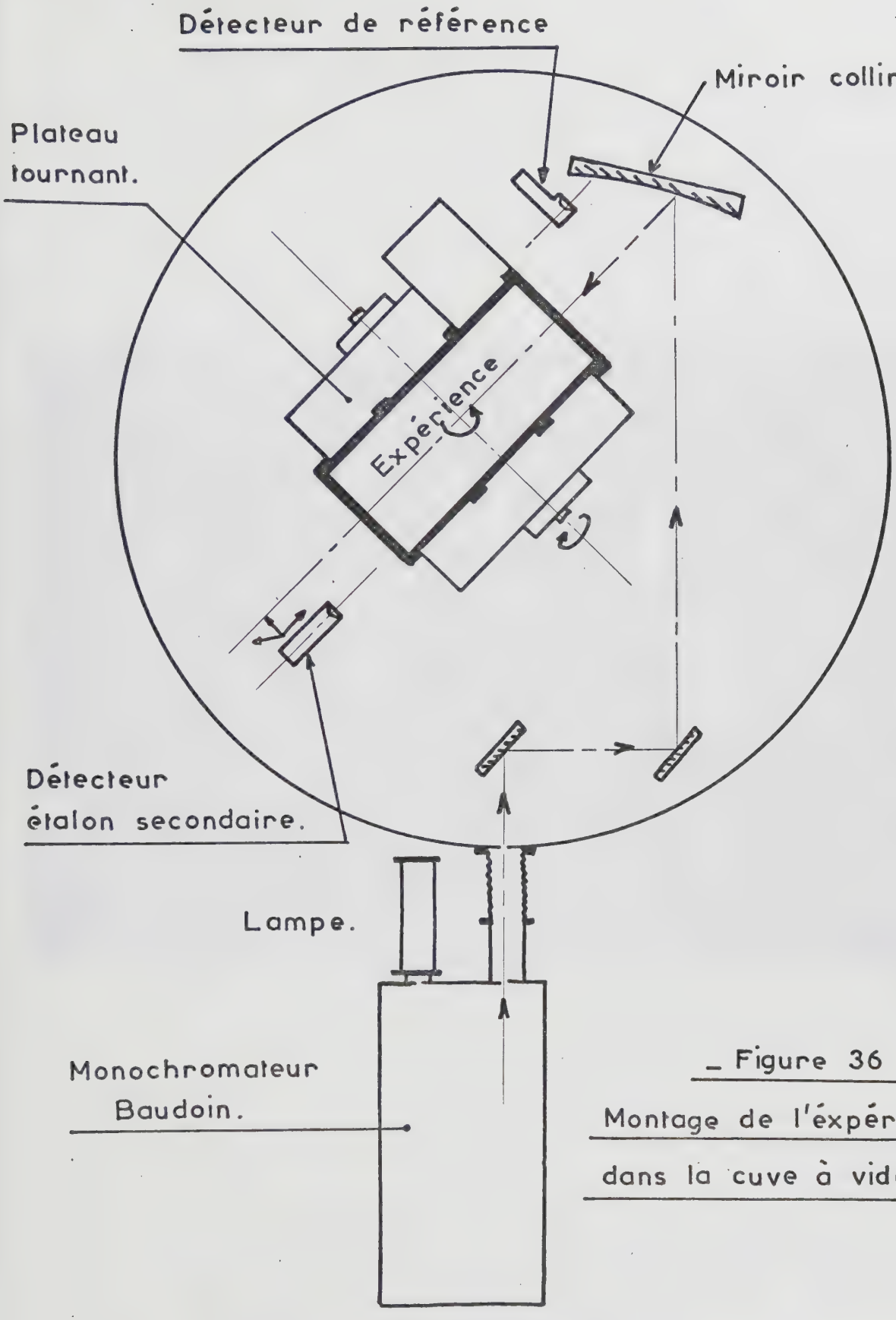
_ Défaut de linéarité _

_ Voie de résonance hydrogéne MV1 _



_ Figure 35 _

_ Réglage des miroirs de calibration _



_ Figure 36 _

Montage de l'expérience dans la cuve à vide_

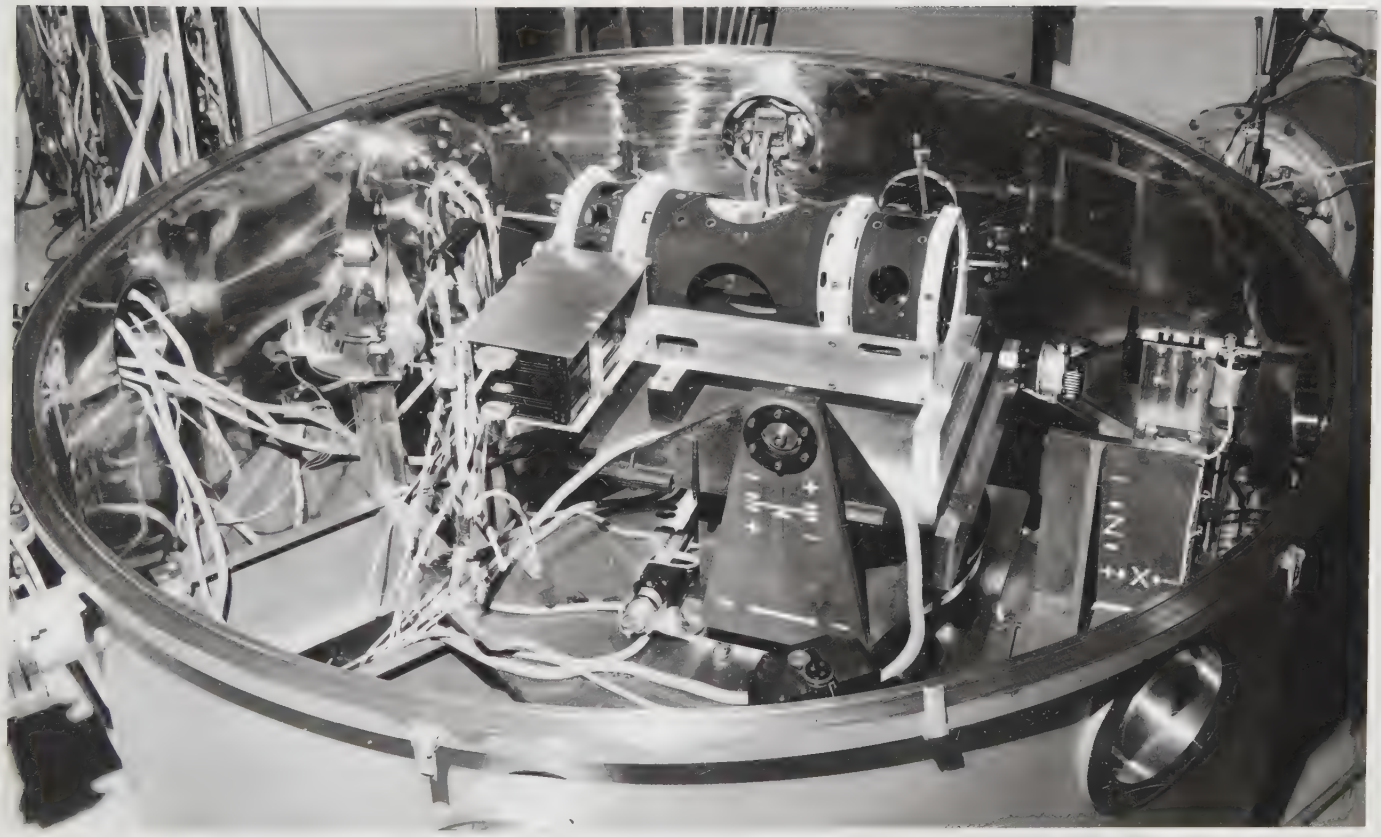
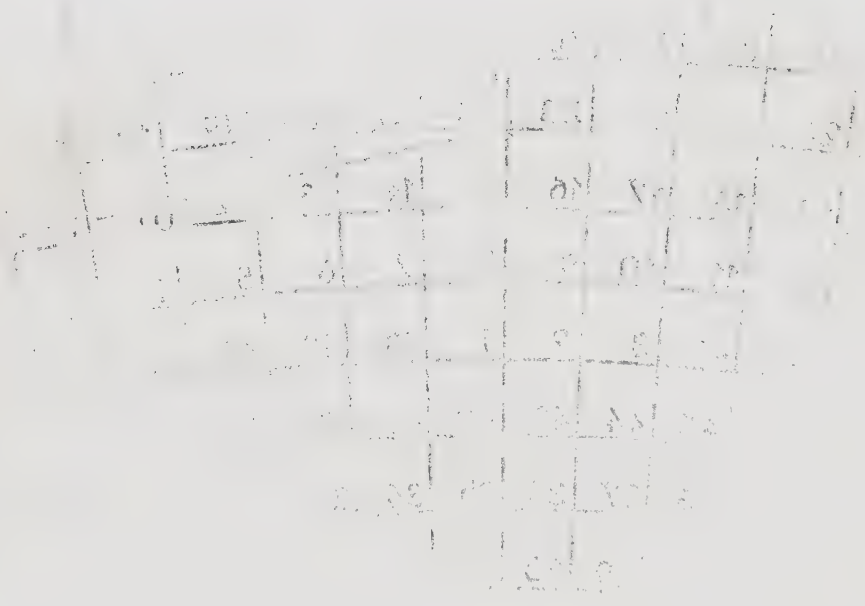
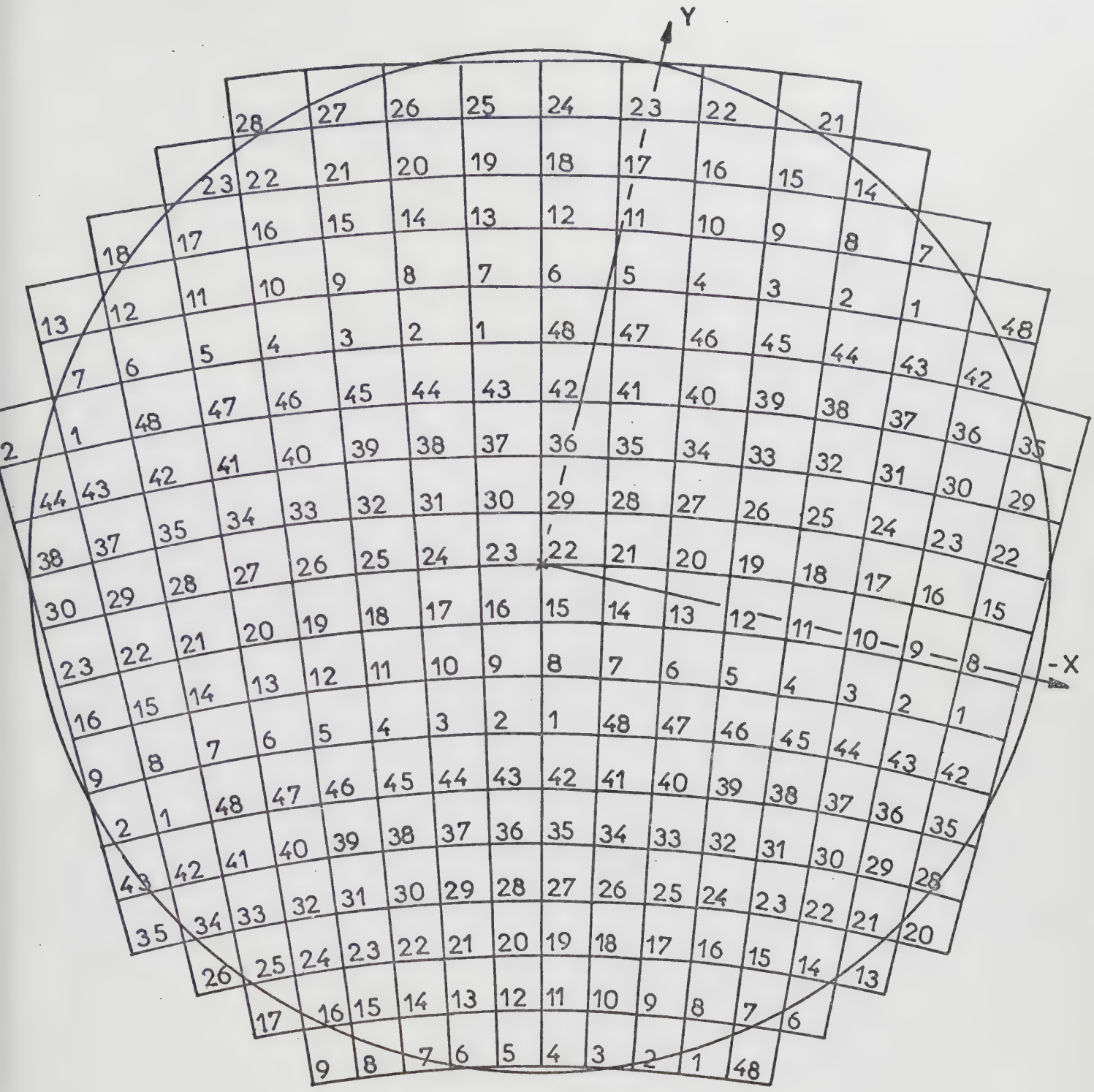


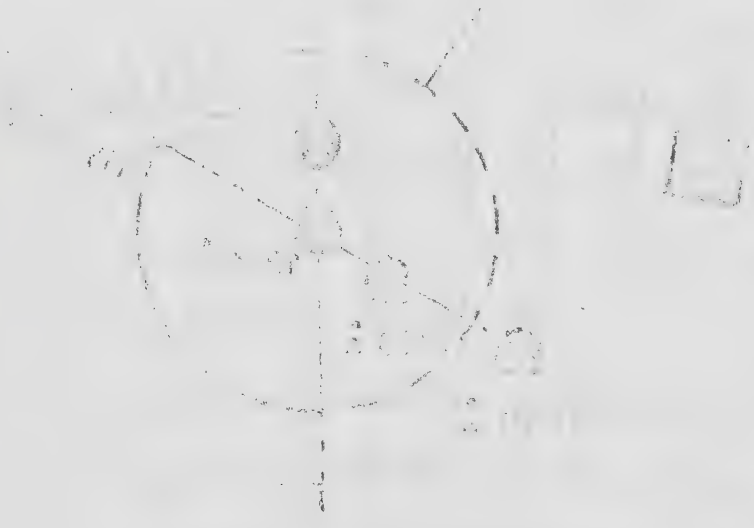
Fig. 37 - Photographie de l'expérience
dans la cuve à vide -

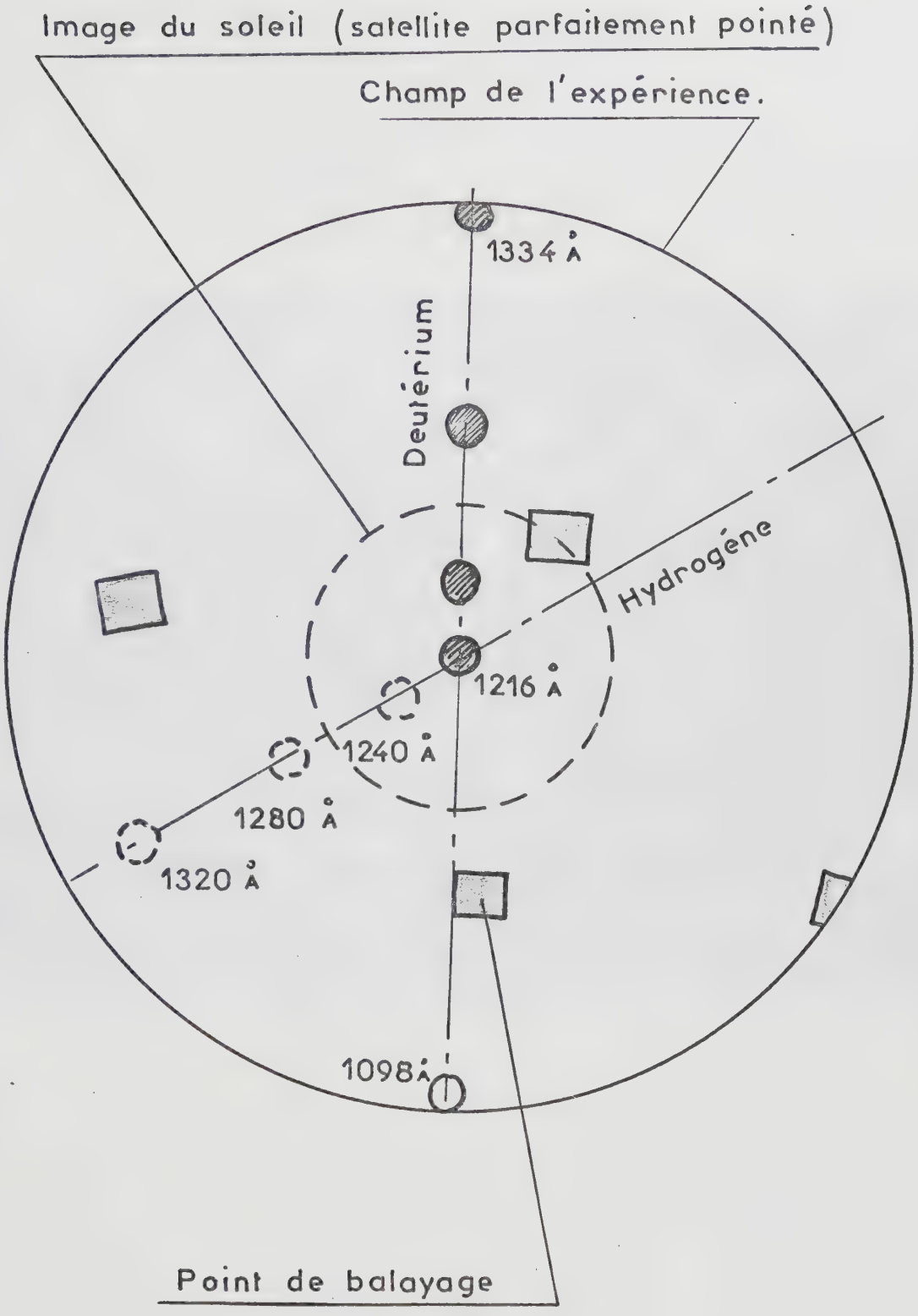




_ Figure 38 _

Numérotation des aires d'analyse et images des axes de référence du satellite pour la voie H.





_ Figure 39 _

_ Images d'une fente fixe pour différentes longueurs d'onde _

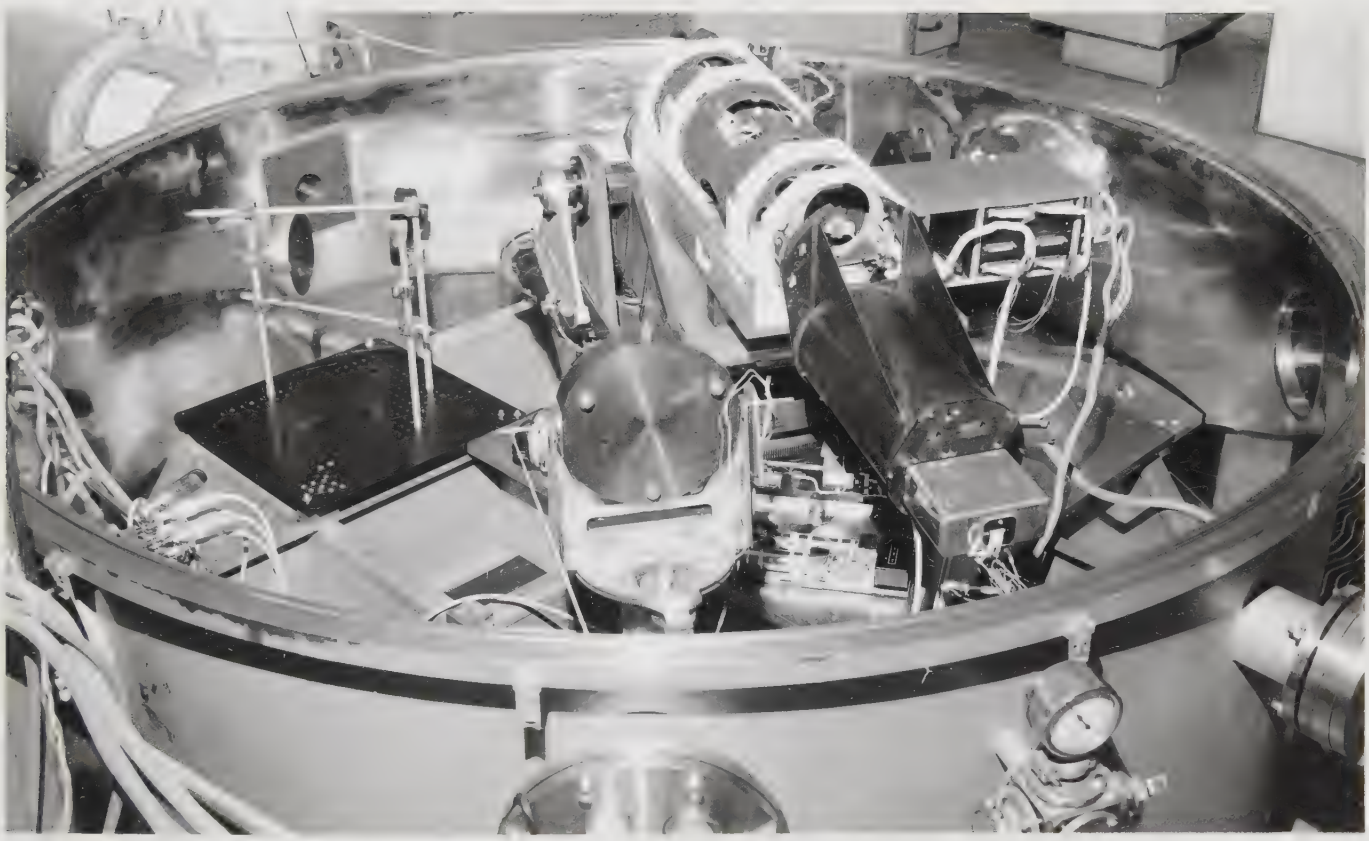
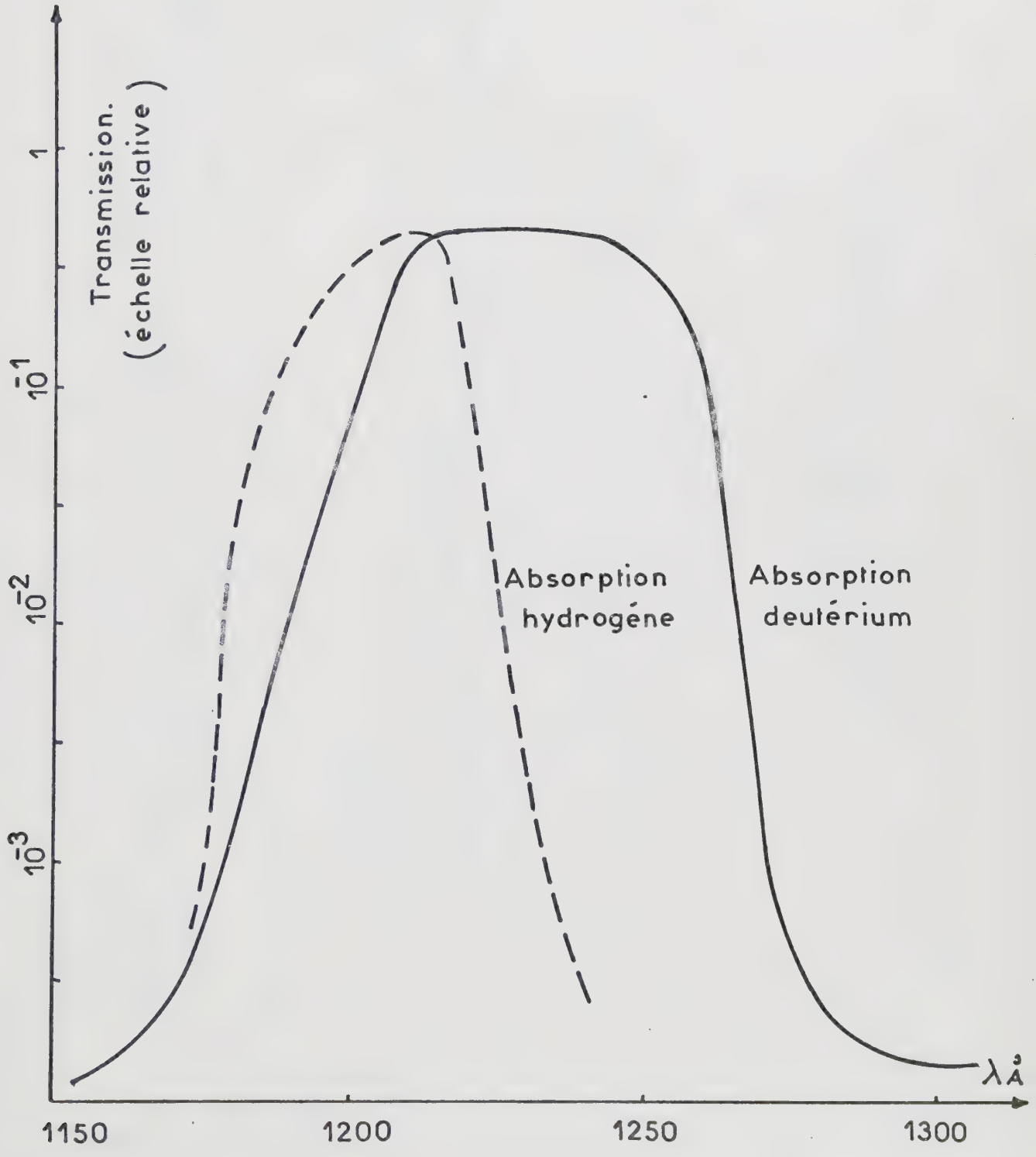
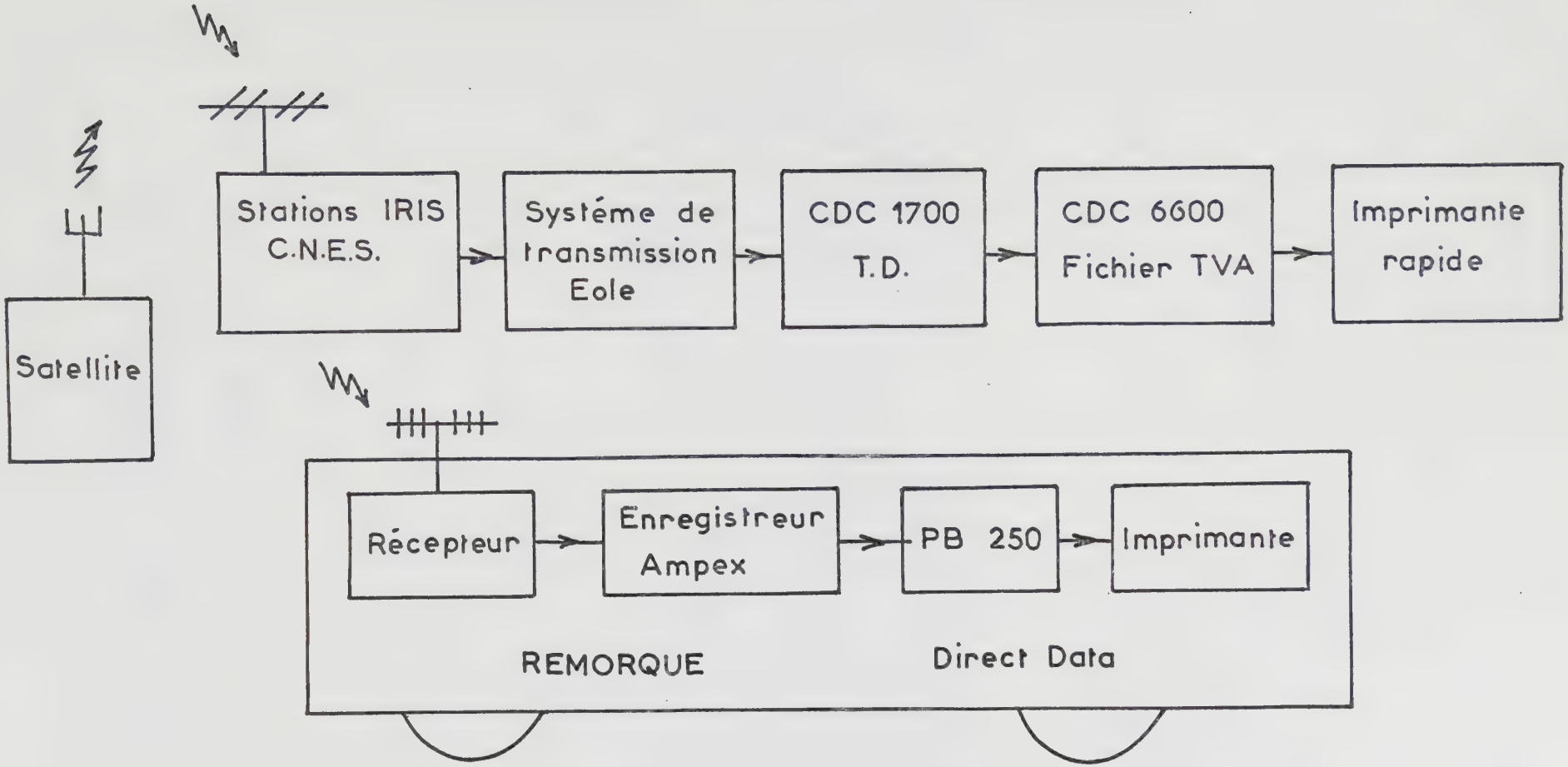


Fig. 40 - Photographie de l'expérience munie
de sa boite de simulation -

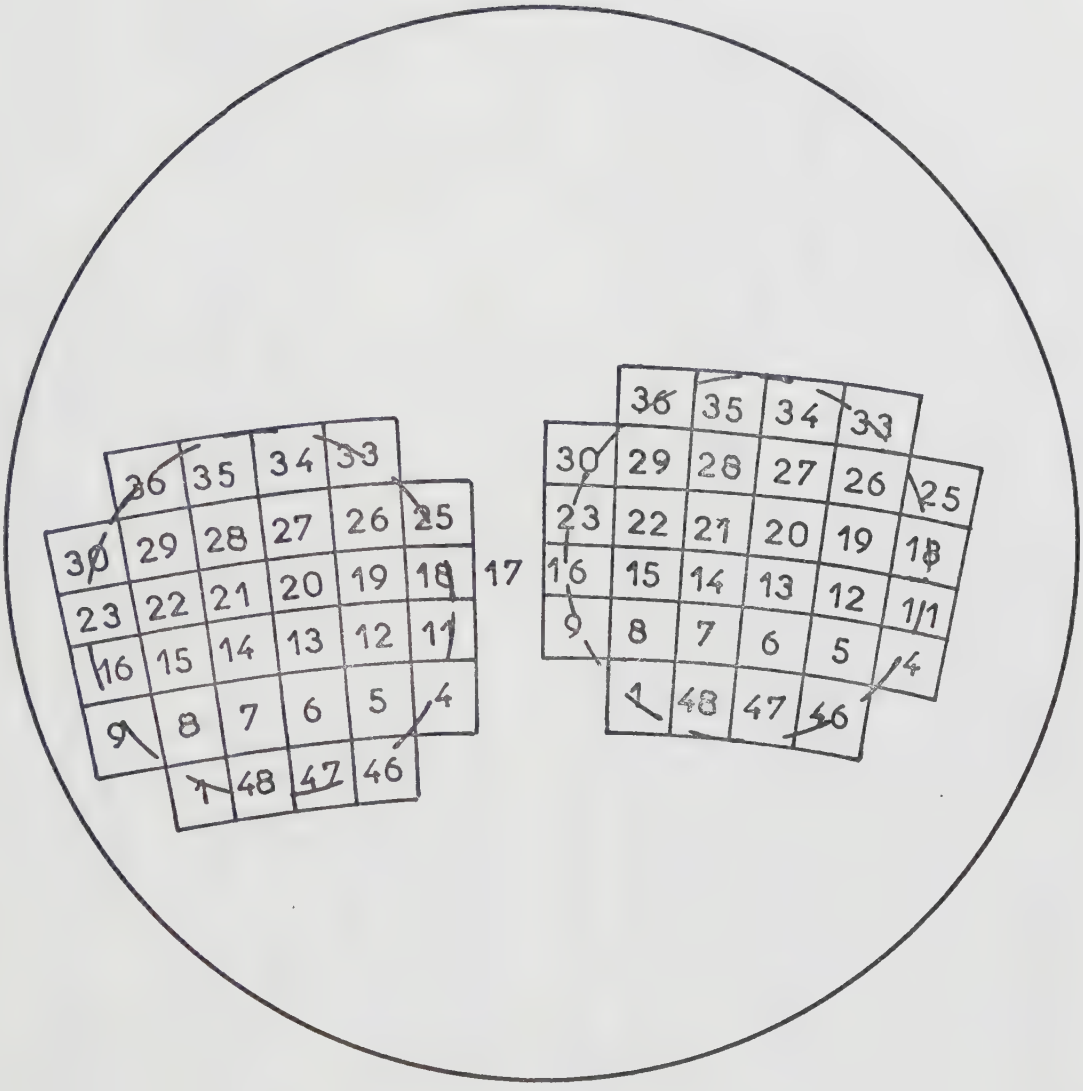


– Figure 41 – Bande passante de l'expérience – (satellite pointé).



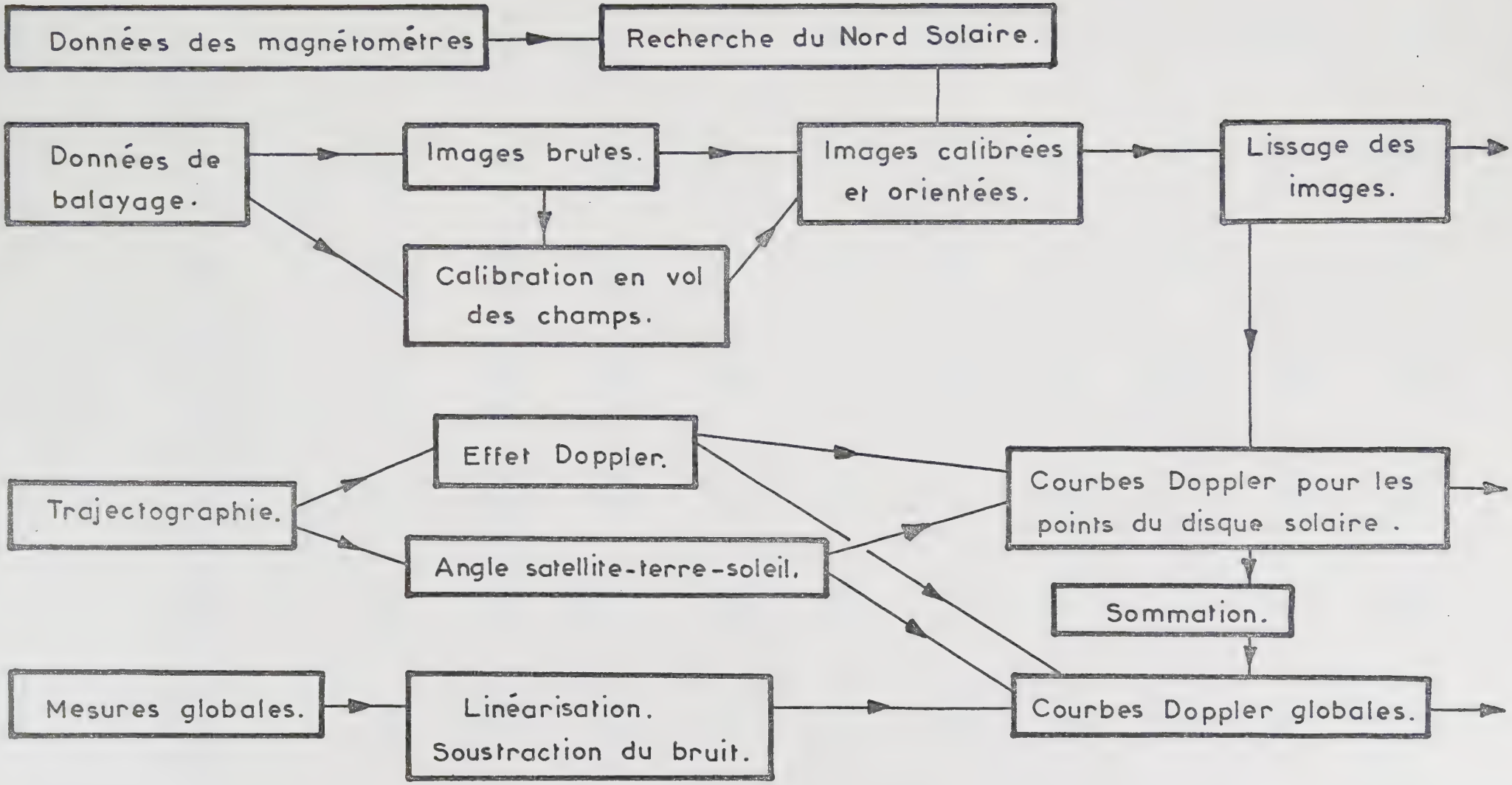
_ Figure 42 _

Moyens du C.V.I. et du Direct Data,



_ Figure 43 _

Exemple d'images ayant la même structure _



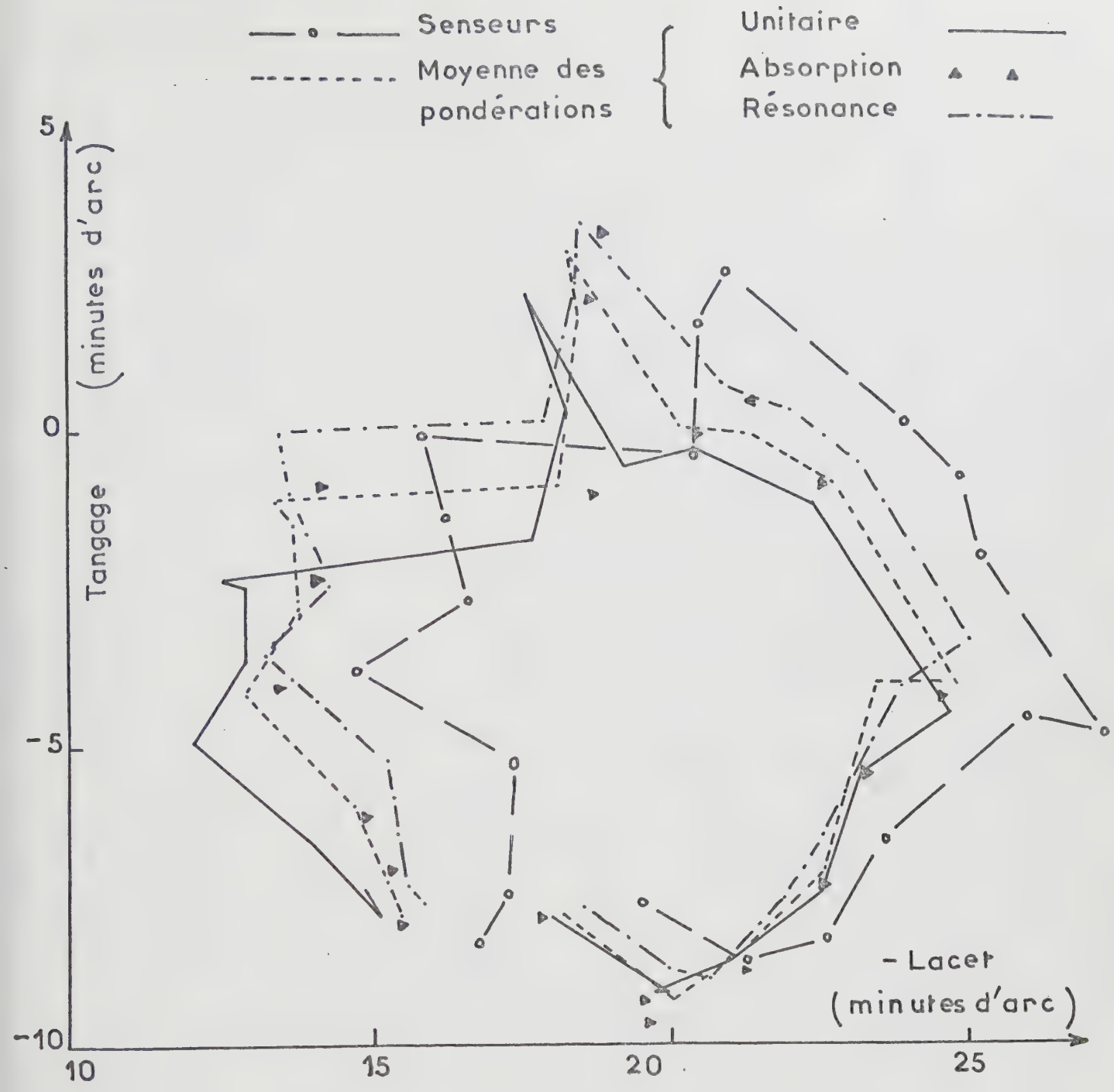
- Figure 44 -

Traitements scientifiques du TVA Solaire.

0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	279	279	210	0	0	0
0	0	350	286	280	260	247	215	0
0	0	354	334	279	261	247	215	205
0	280	363	329	279	296	265	224	205
0	286	340	319	335	323	266	225	206
0	290	363	346	295	275	245	243	225
0	283	326	289	252	234	215	215	205
0	0	284	280	252	230	215	215	0
0	0	0	279	252	220	210	0	0

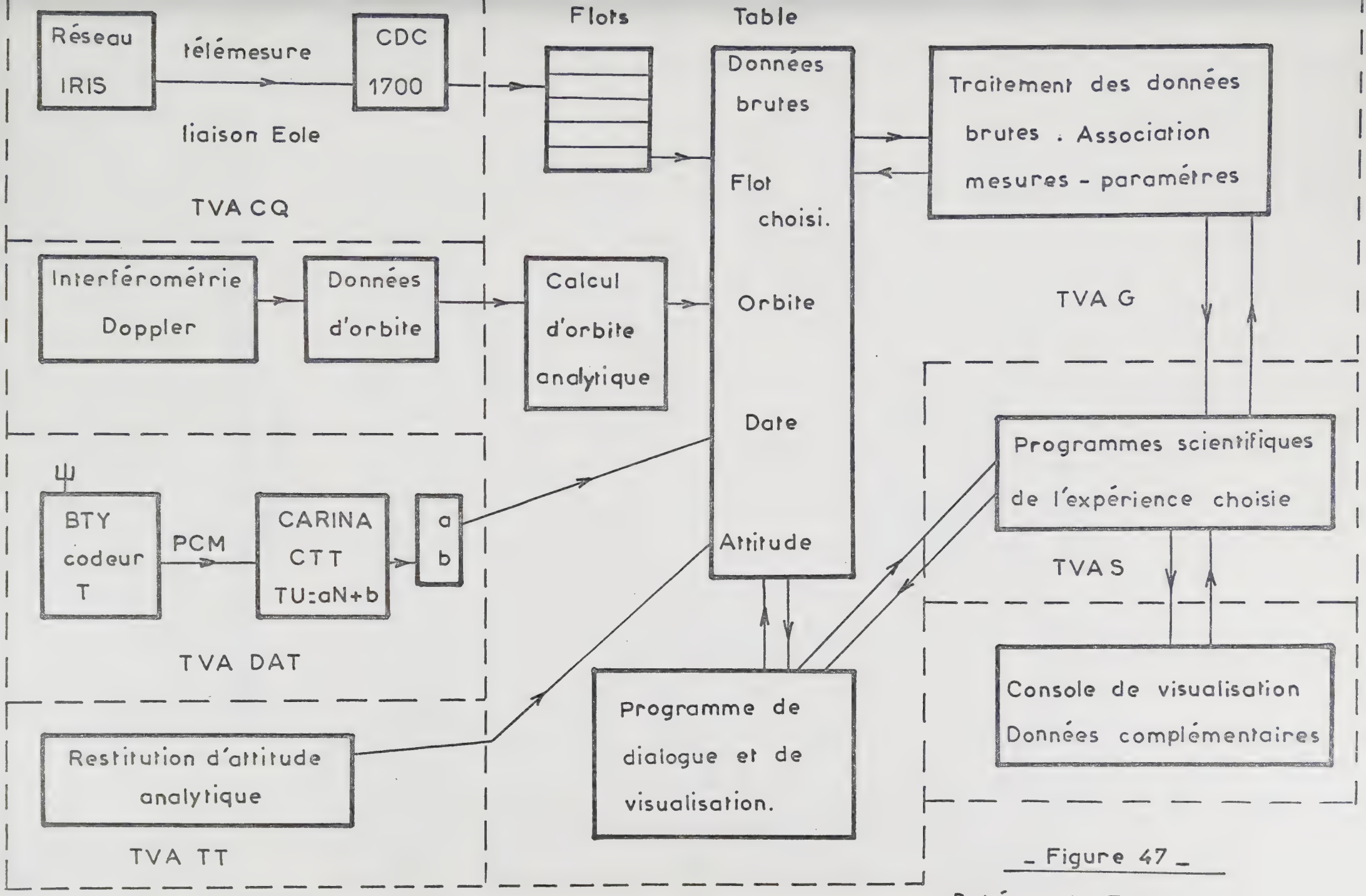
_ Figure 45 _

Matrice de calibration de la voie absorption deutérium.



_ Figure 46 _

Déplacement du barycentre des images évalué par différentes méthodes _



_ Figure 47 _

Schéma du TVA.

							VOIE	D-A							
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	17	40	18	13	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	56	20	34	38	23	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	40	-58	38	60	34	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	38	62	42	34	34	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	28	31	18	42	29	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	21	18	16	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	828

POINTEZ SUR LA VALEUR A MODIFIER

TEMPS	TEMPS	HTH	HTD	TETA H	TETA D	DOPPLER	ASTS	BIDON	BIDON	BIDON	BIDON	BIDON
TTTO	339680	2.89	2.81	25.24	25.71	17.85	47.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

NO.FORM	NO.MEM	OBT. H	OBT. D	EP.H	EP.D	P49	P.0	HTH	HTD	PA04	PA05	TF	SCAL	PA03
8433	1	1	1	3	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0

_ Figure 48 _

Exemple de visualisation du TVA sur console.

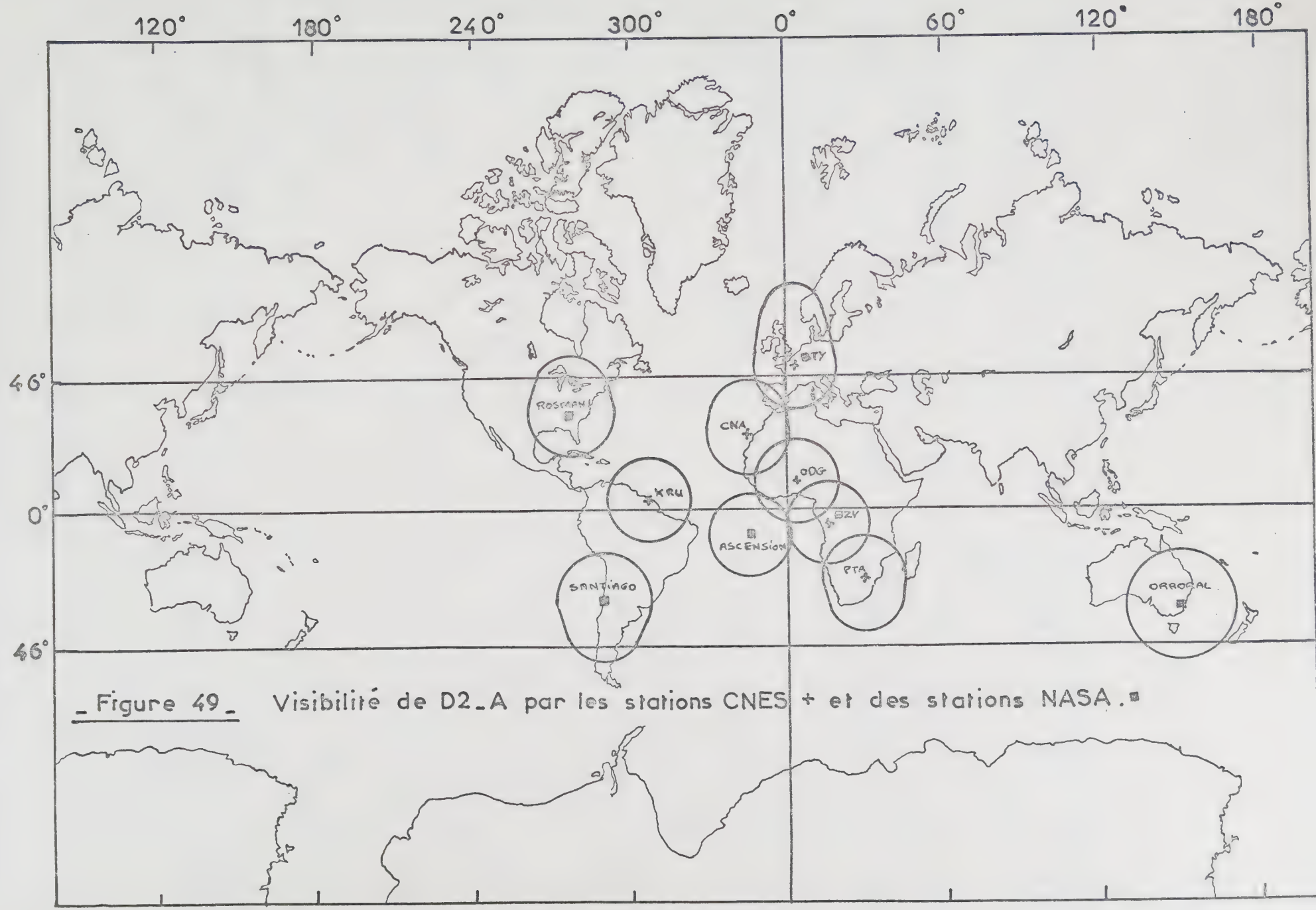
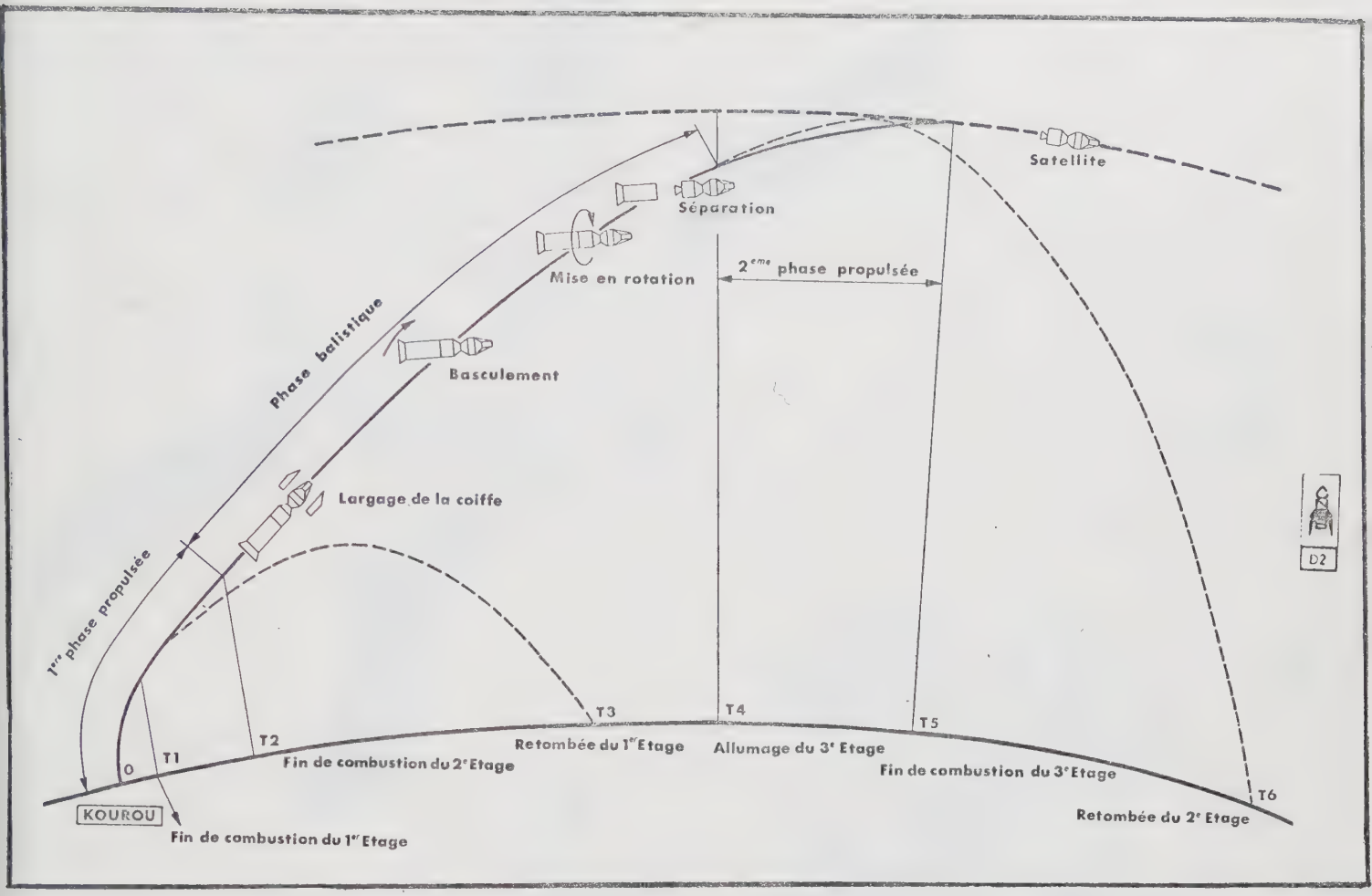


Figure 49 Visibilité de D2_A par les stations CNES + et des stations NASA.■

Inclinaison	5° 14'	45°	48°	51°	75°
Altitude de Périgée Km	575	494	485	471	310
Altitude d'Apogée Km	750	752	696	644	700
Couverture : orbites vues au moins une fois.	100 %	96 %	89 %	87 %	60 %
Numéros des orbites visibles par différentes stations peu de temps aprés le lancement. soulignées = médiocres					
Canaries	–	0.1. 2. 3. 4. 5.	0. 4. 5.	0. 4. 5.	4. 5. 6.
Brétigny	–	0.1. 2. 3.	0.1. 2. 3.	0.1. 2. 3. 4.	3. 4. 5.
Tromsöe	-	-	–	–	0.1. 2. 3.
Orbites sans ombre au cours des 6 premiers mois (tir le 1.3.71)	néant	0 à 4 jours	2 à 6 jours	7 jours quel que soit le créneau	plusieurs jours.

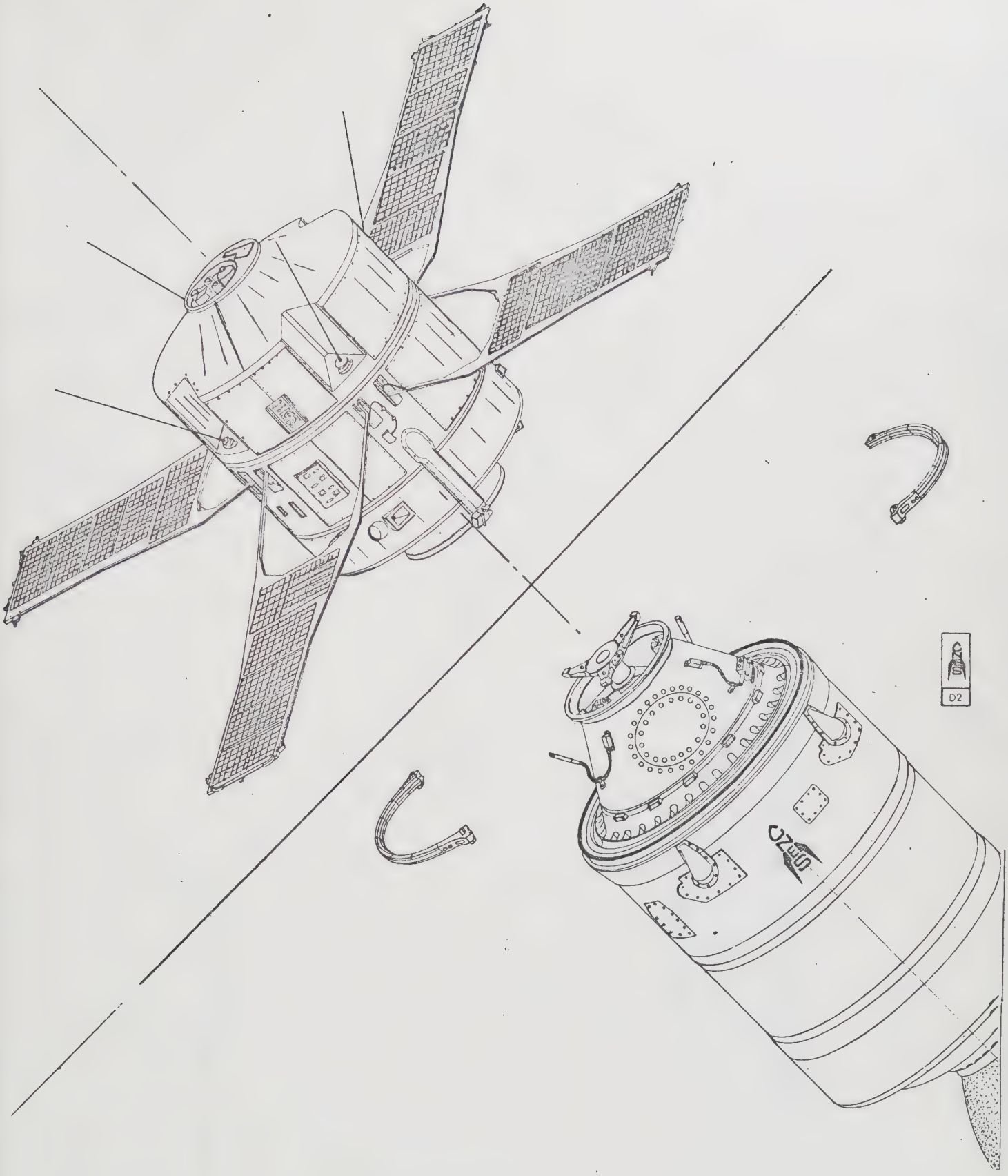
_ Figure 50 _

Caractérisques de différentes orbites pouvant être obtenues à l'aide du lanceur Diamant B.



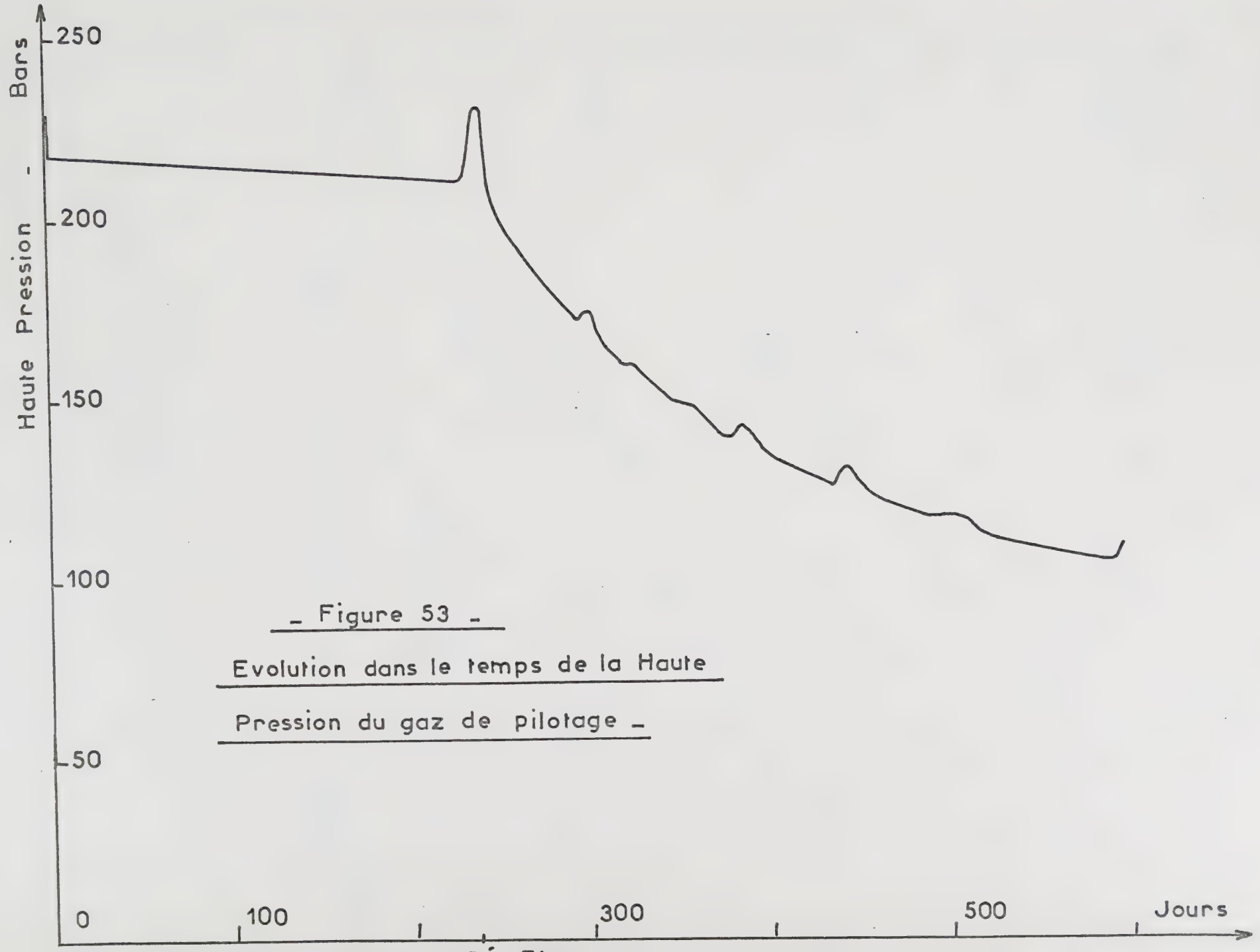
_ Figure 51 _

Déroulement de la mise en orbite.



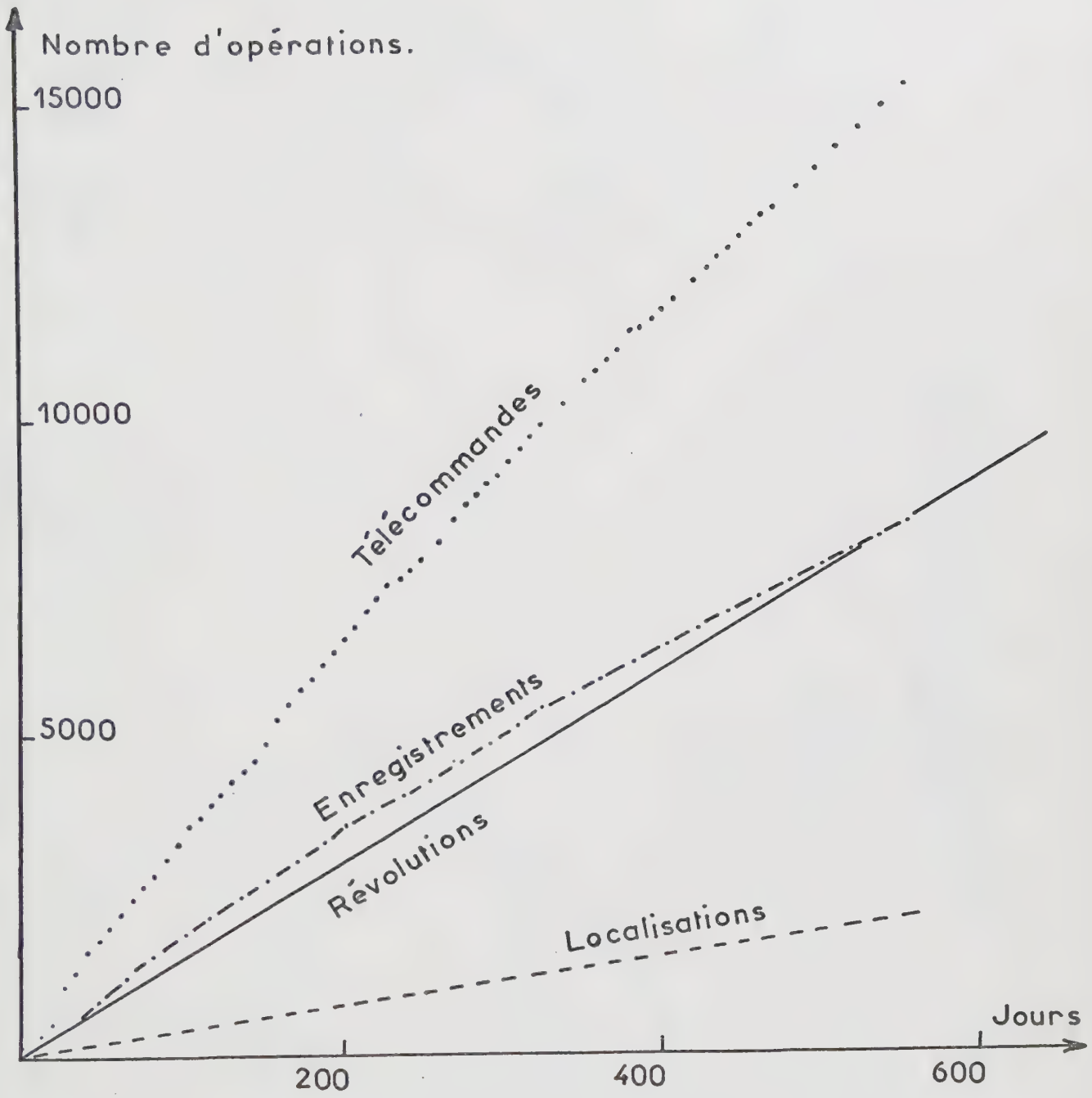
_ Figure 52 _

H_o + 814 secondes : Séparation case-satellite.



_ Figure 53 _

Evolution dans le temps de la Haute Pression du gaz de pilotage _



_ Figure 54 _

Bilan des opérations _

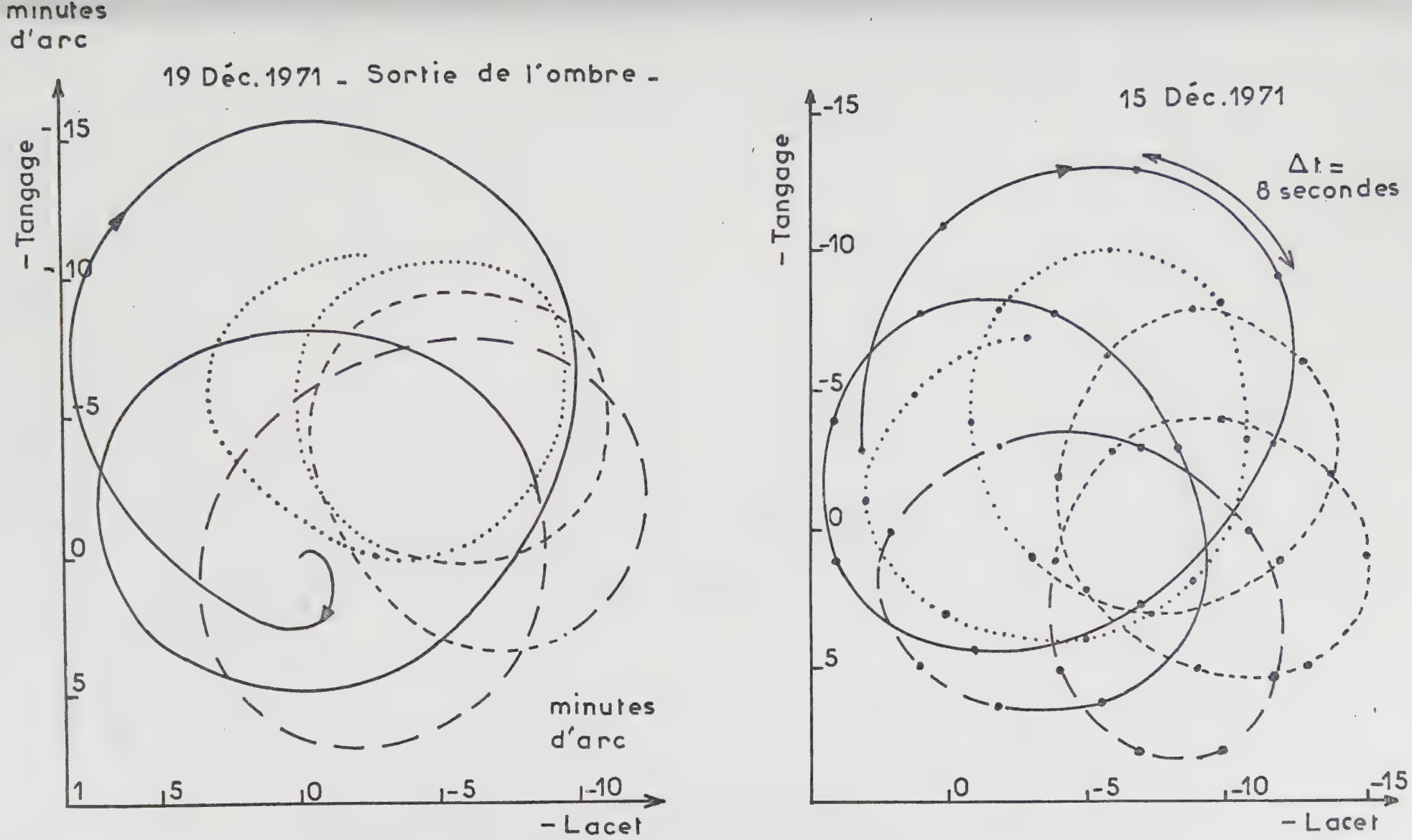
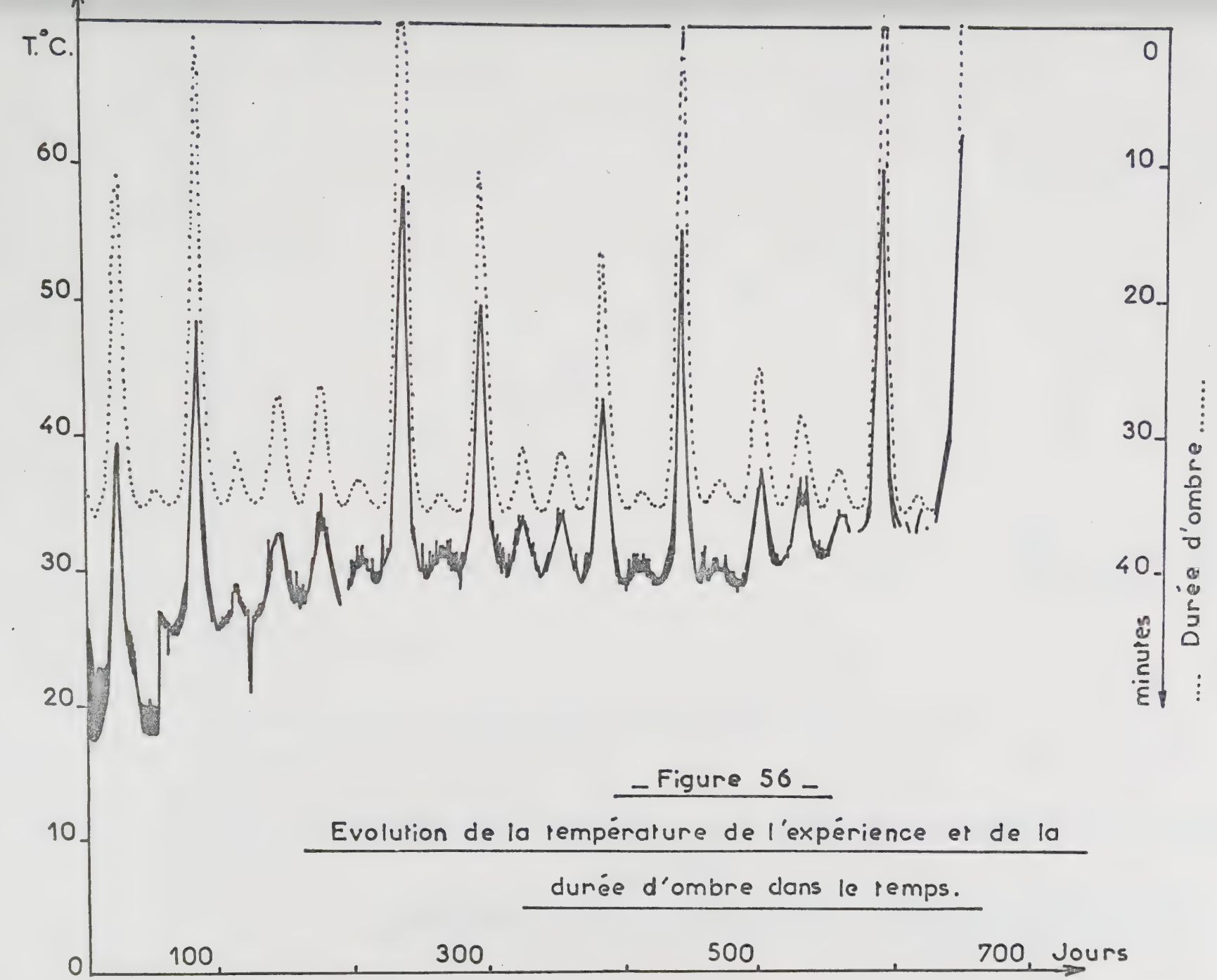


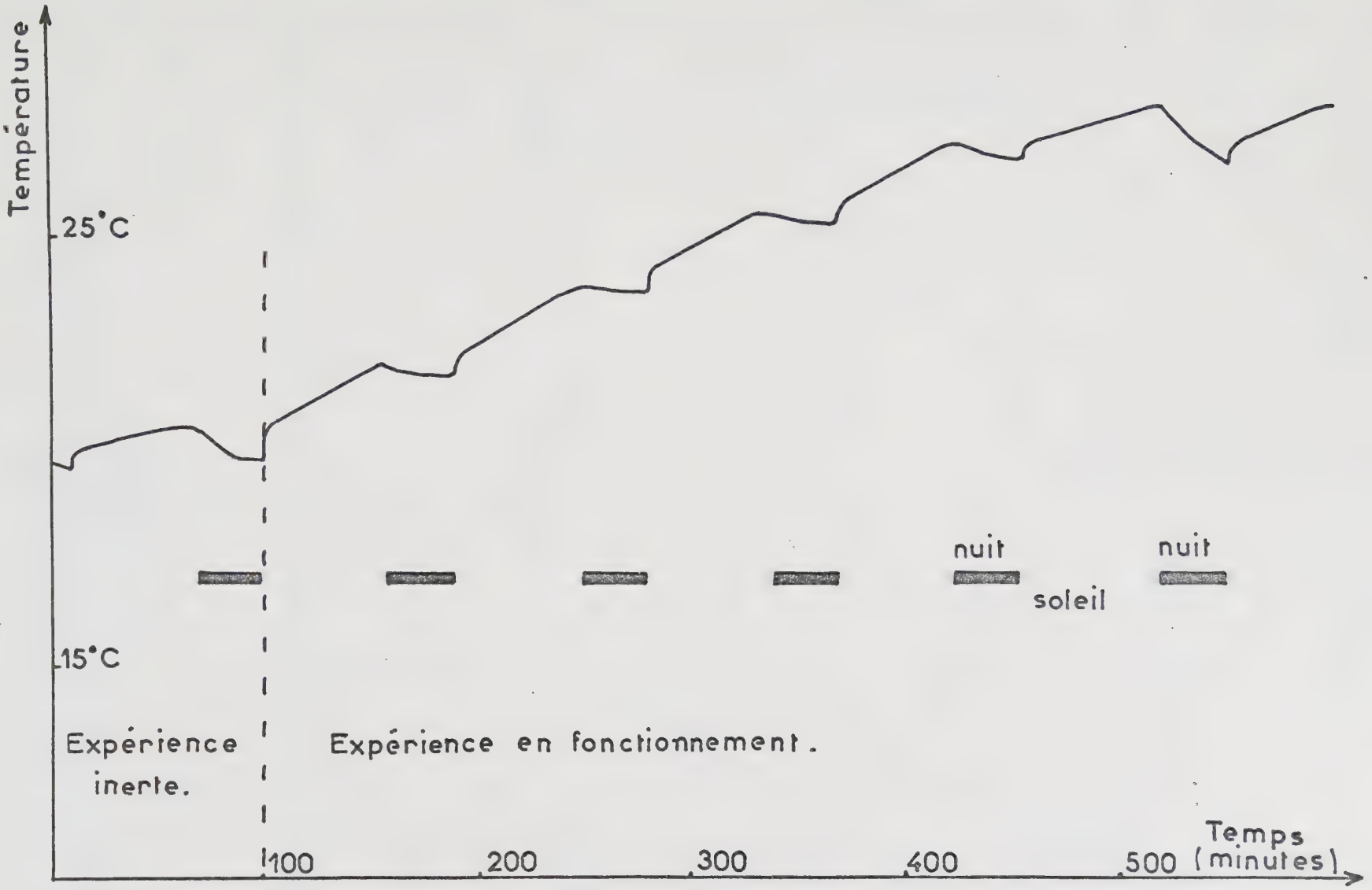
Figure 55

Mouvement de la ligne de visée_



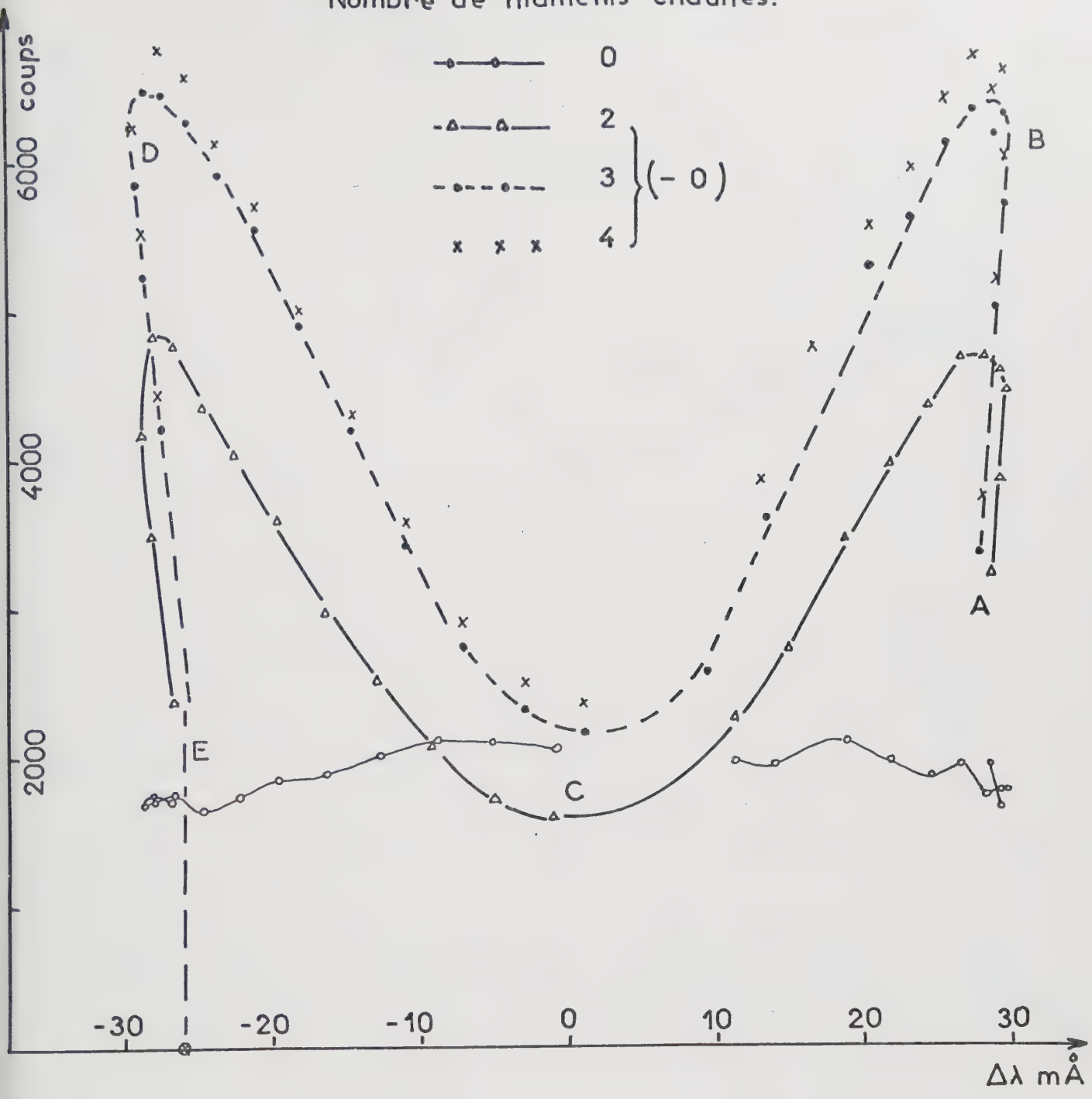
_ Figure 56 _

Evolution de la température de l'expérience et de la durée d'ombre dans le temps.



_ Figure 57 _

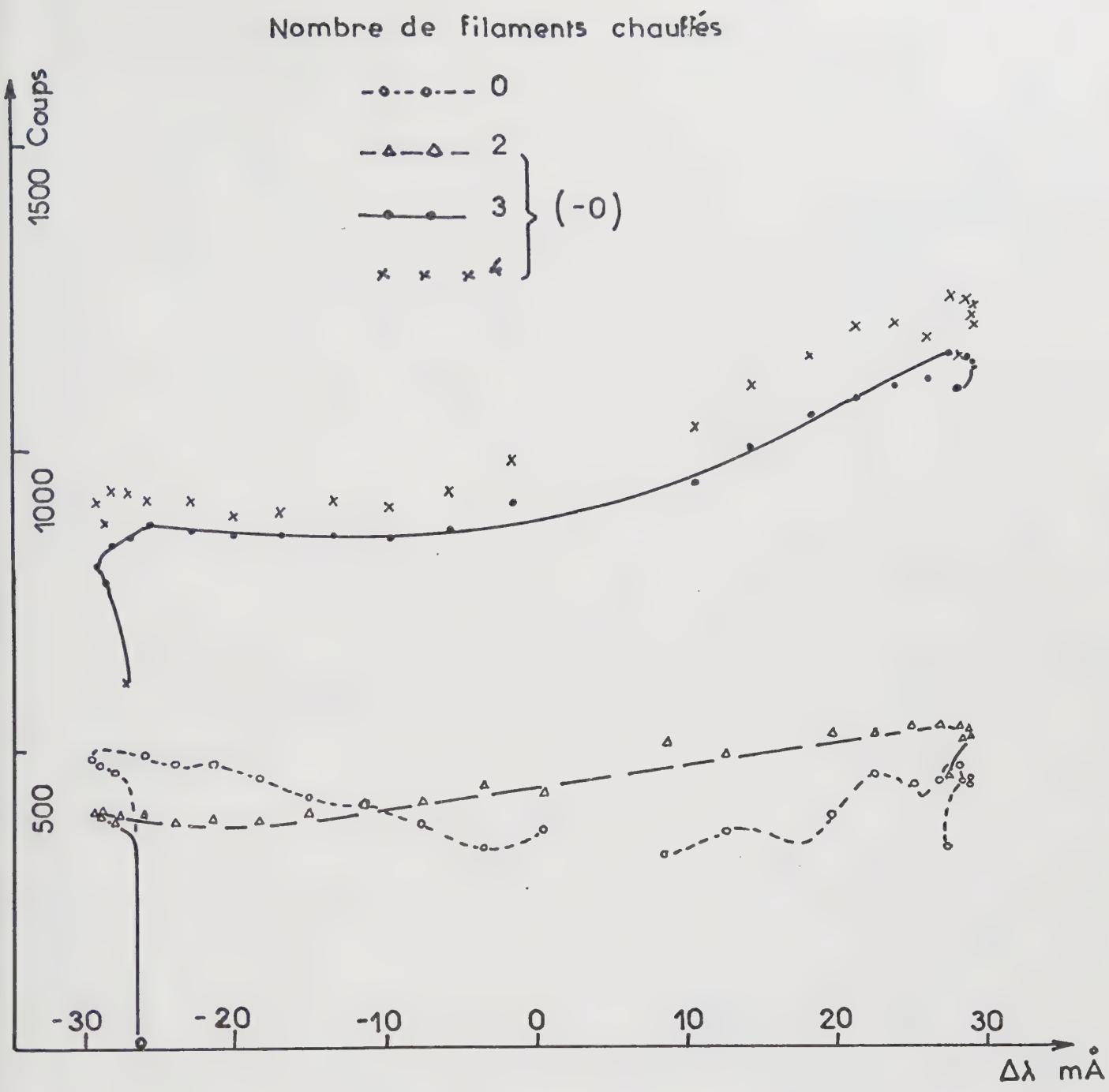
Etablissement de l'équilibre thermique en fonctionnement.



_ Figure 58 _

Lumiére parasite et résonance hydrogéne pure.

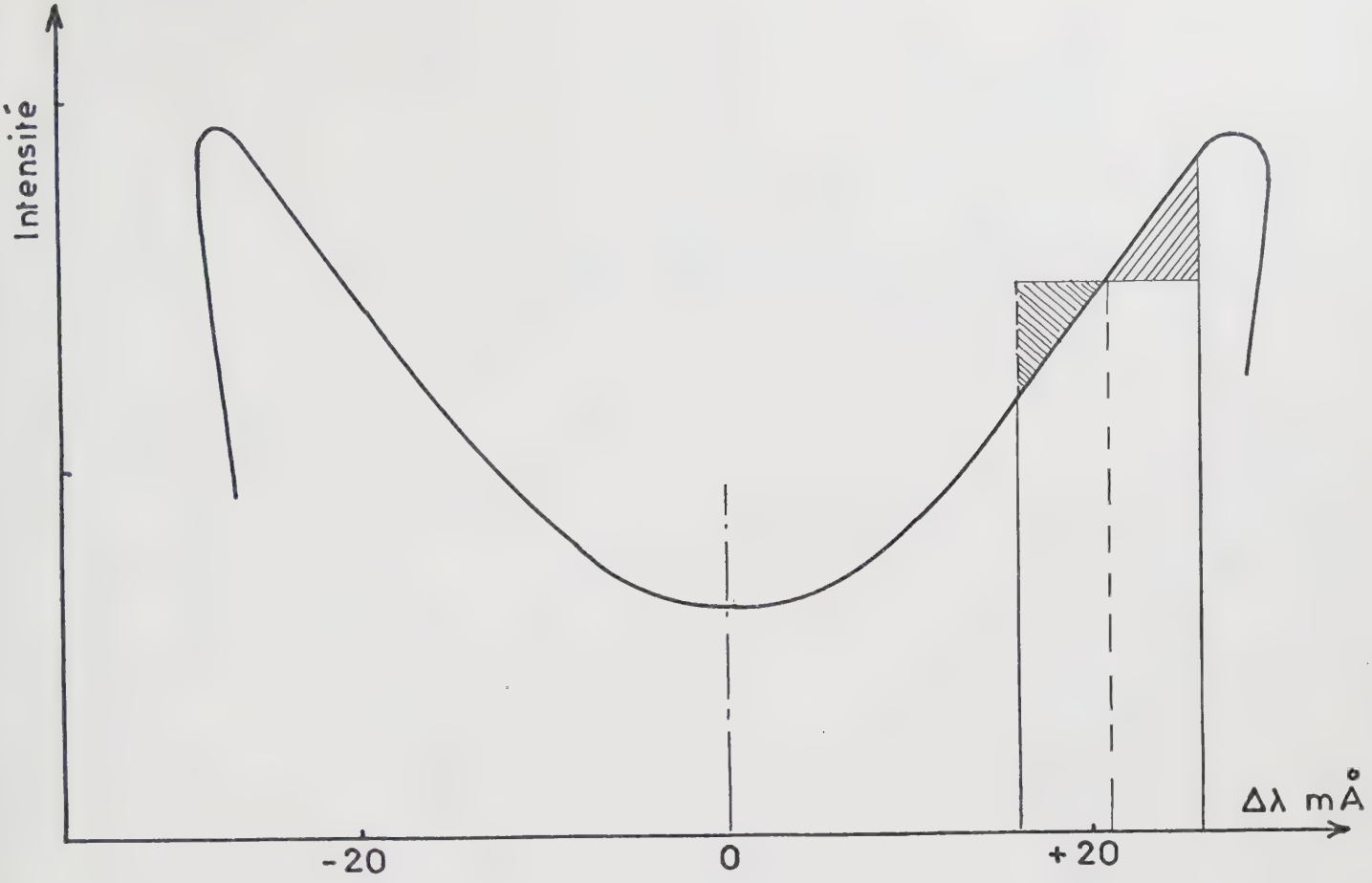
(22 Avril 1971)



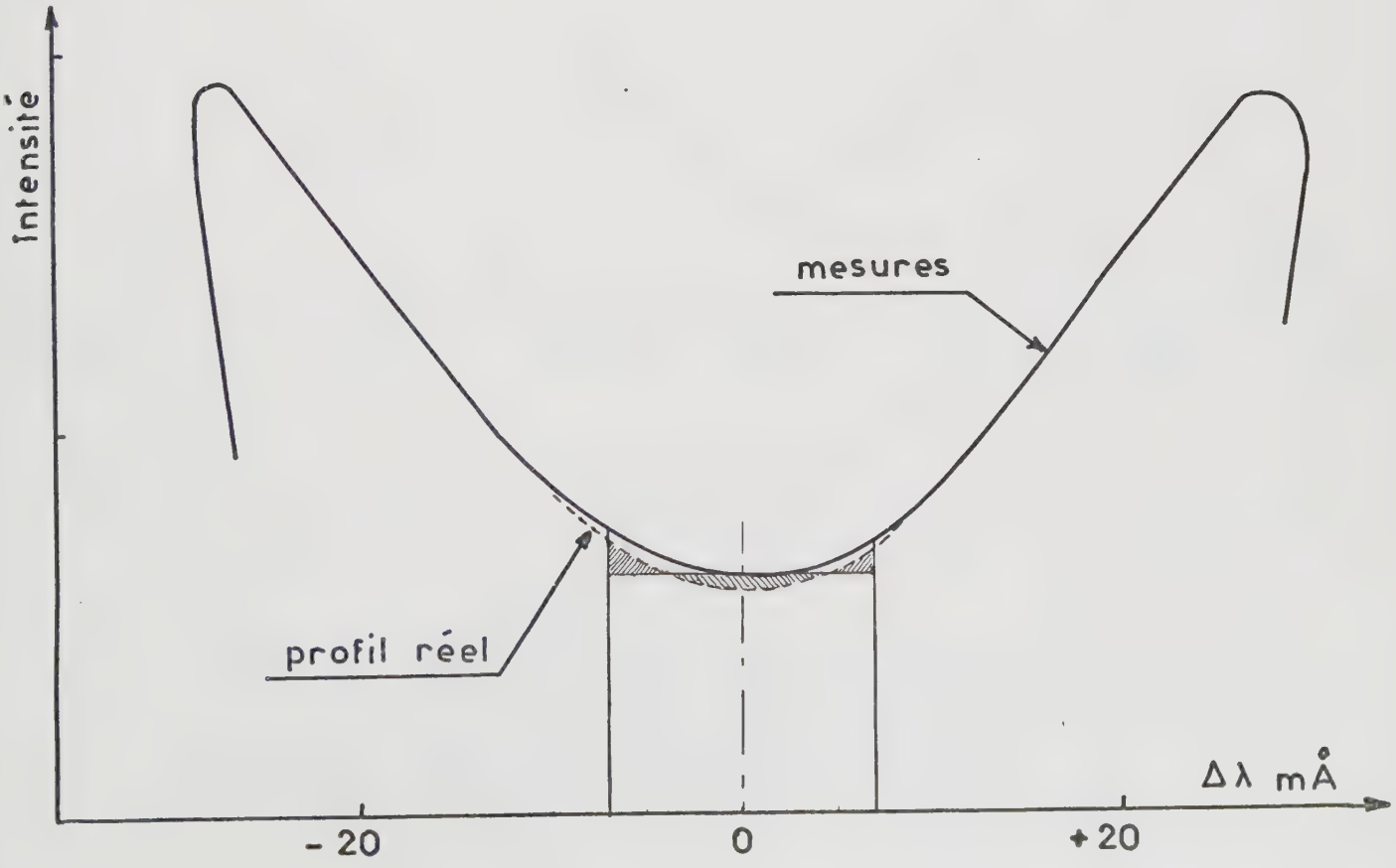
_ Figure 59 _

Lumiére parasite et résonance deutérium .

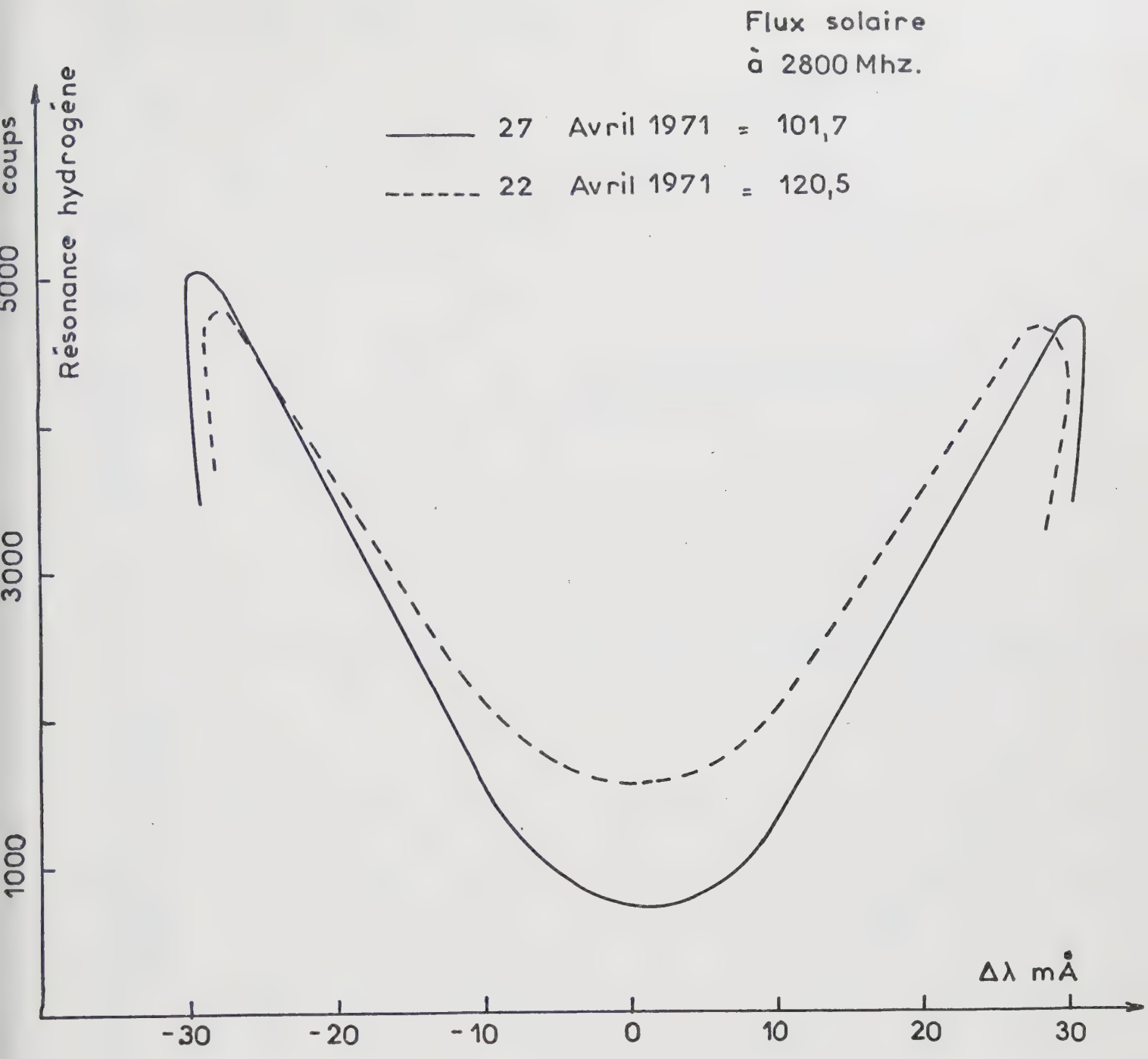
(22 Avril 1971)



_ Figure 60 _

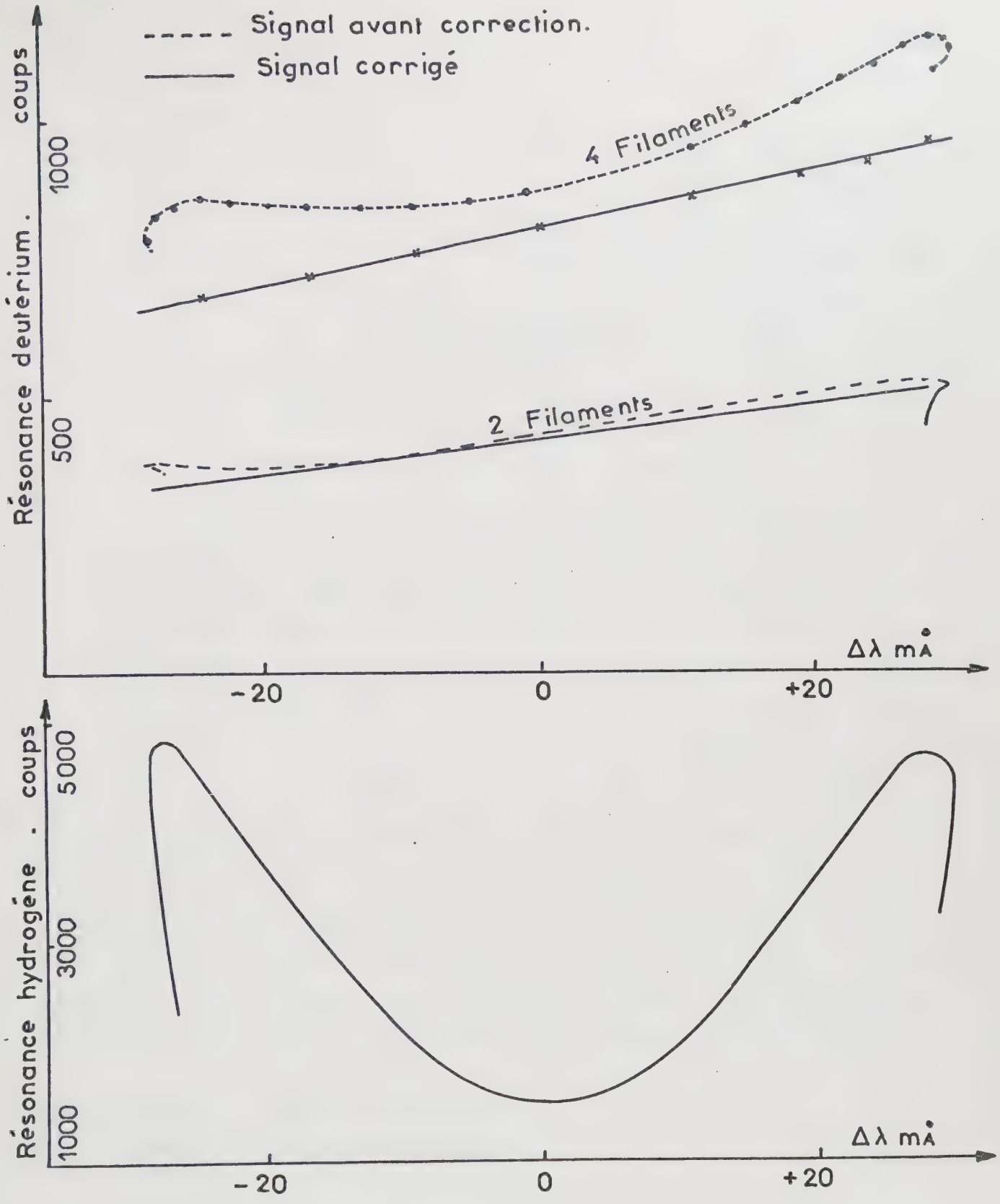


_ Figure 61 _



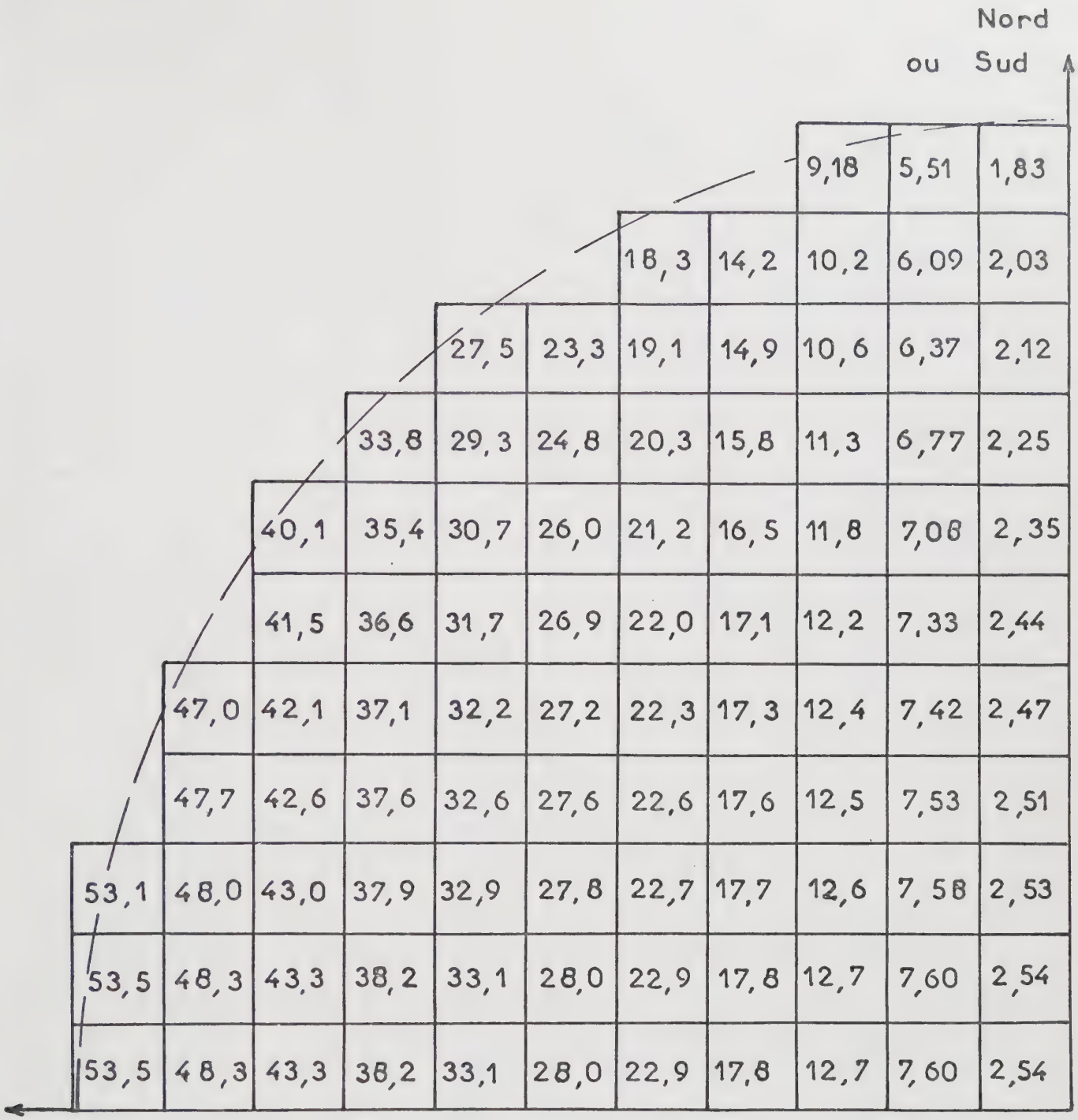
_ Figure 62 _

Signal de résonance hydrogéne pour des niveaux d'activité solaire différents.



_ Figure 63 _

Correction de l'effet de l'hydrogène résiduel sur le signal de résonance deutérium .



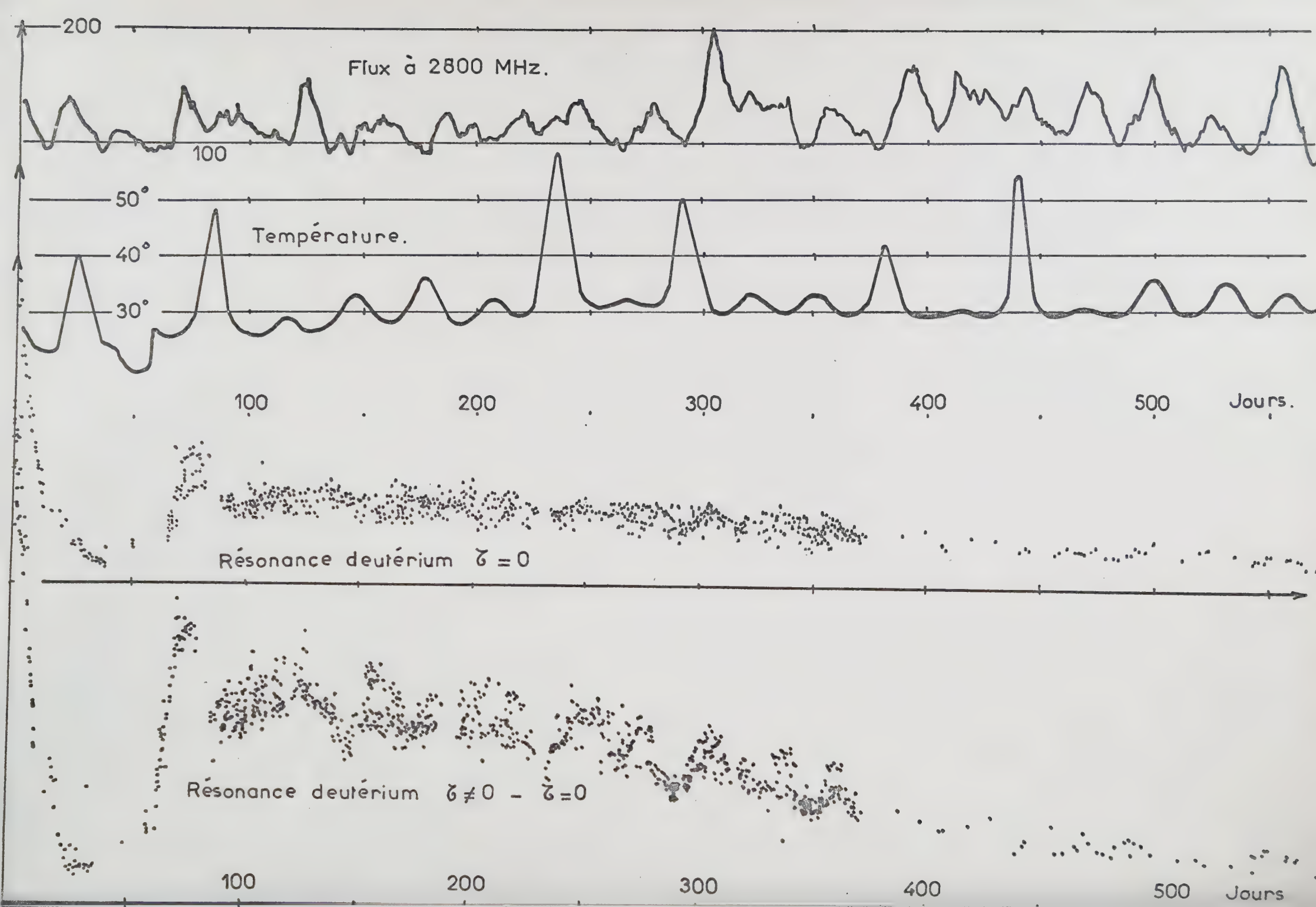
							9,18	5,51	1,83
					18,3	14,2	10,2	6,09	2,03
			27,5	23,3	19,1	14,9	10,6	6,37	2,12
		33,8	29,3	24,8	20,3	15,8	11,3	6,77	2,25
	40,1	35,4	30,7	26,0	21,2	16,5	11,8	7,08	2,35
	41,5	36,6	31,7	26,9	22,0	17,1	12,2	7,33	2,44
47,0	42,1	37,1	32,2	27,2	22,3	17,3	12,4	7,42	2,47
47,7	42,6	37,6	32,6	27,6	22,6	17,6	12,5	7,53	2,51
53,1	48,0	43,0	37,9	32,9	27,8	22,7	17,7	12,6	7,58	2,53
53,5	48,3	43,3	38,2	33,1	28,0	22,9	17,8	12,7	7,60	2,54
53,5	48,3	43,3	38,2	33,1	28,0	22,9	17,8	12,7	7,60	2,54

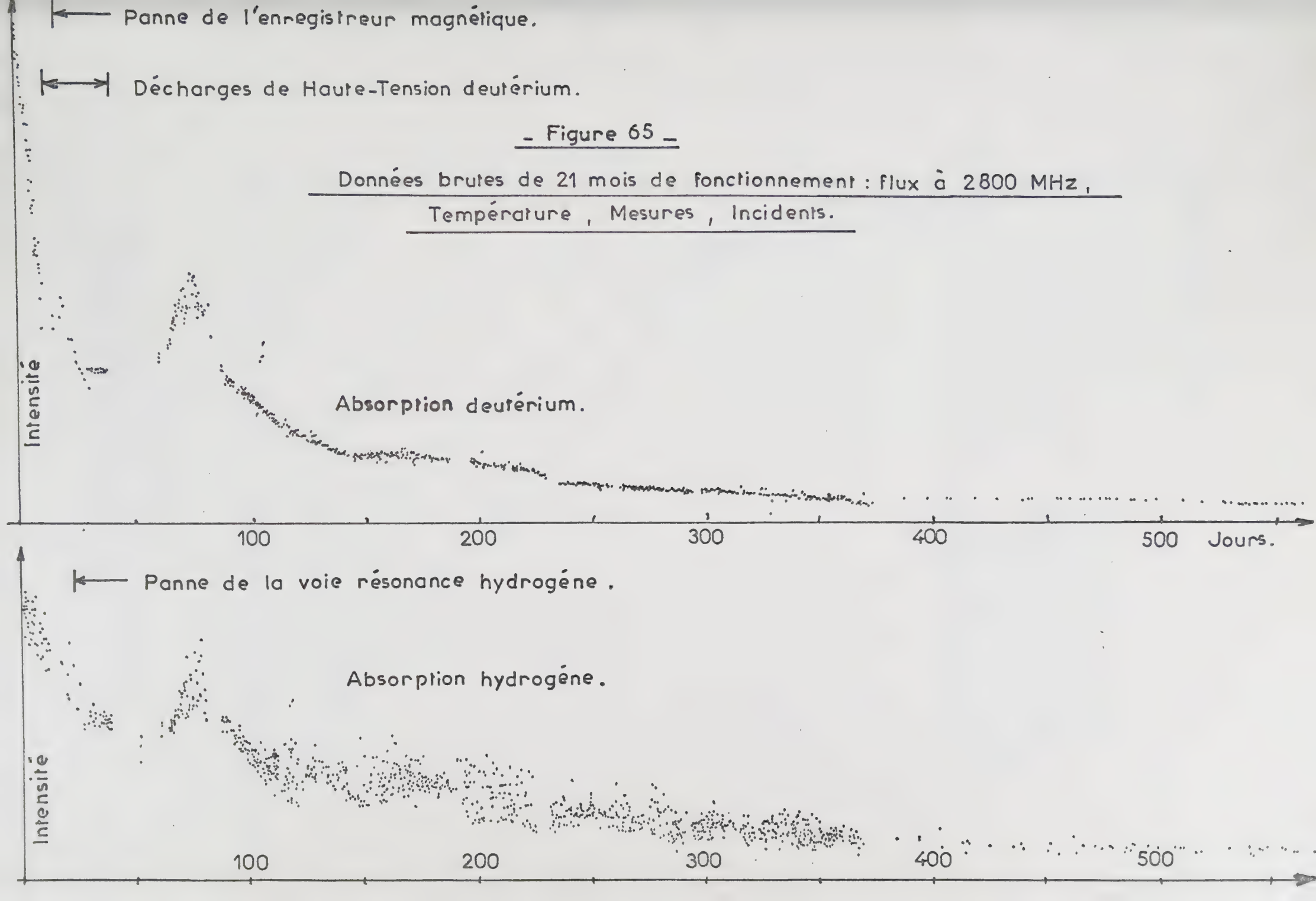
Est : millièmes de signal à soustraire.

Ouest : milliémes de signal à ajouter.

- Figure 64 -

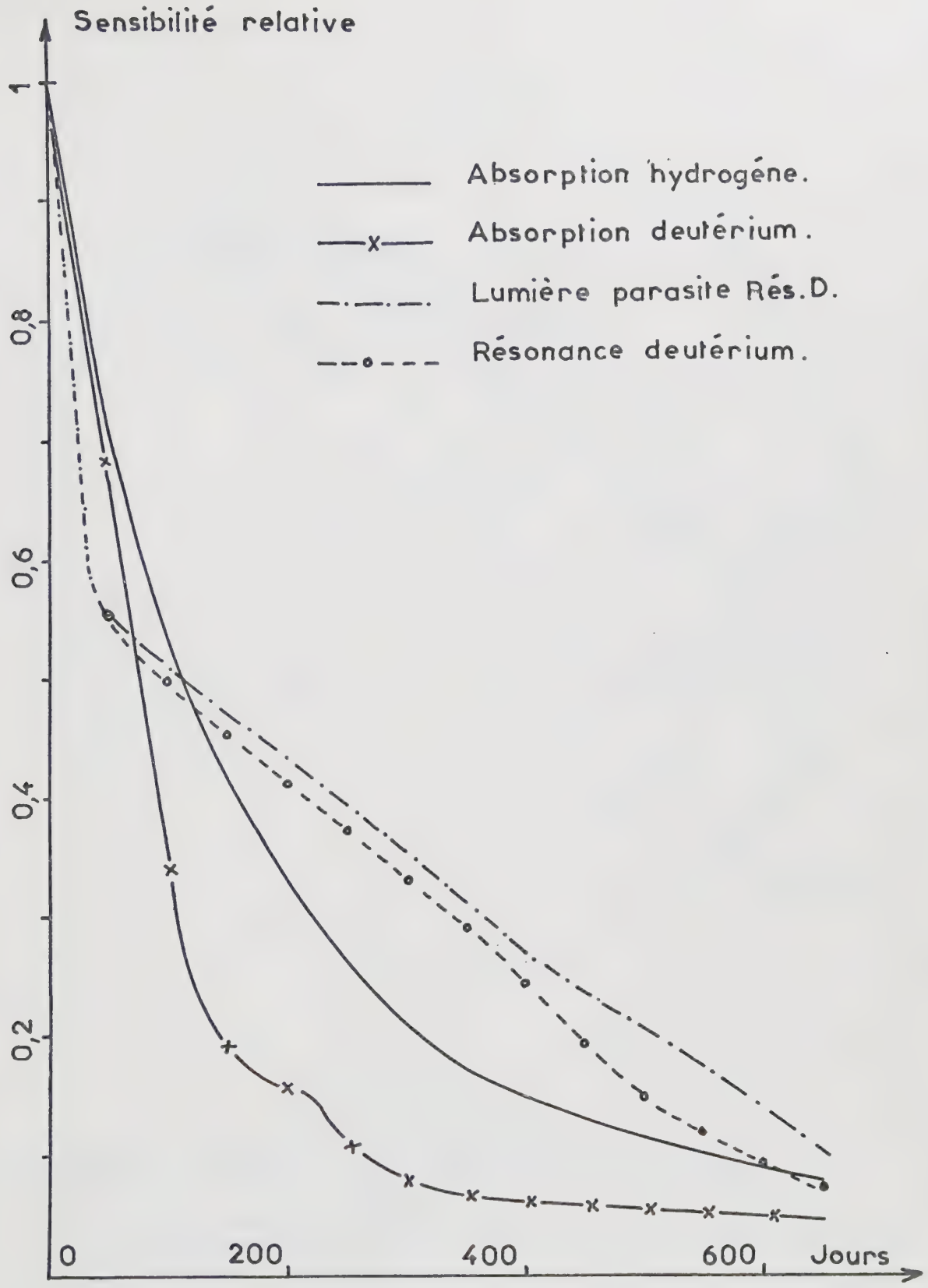
Table des corrections à appliquer aux éléments des cartes solaires lissées obtenues par la voie résonance deutérium. (Effet Doppler du à la rotation du soleil.)


200
Flux à 2800 MHz.
100
50°
Température.
40°
30°
100
200
300
400
500
Jours.
Résonance deutérium $\zeta = 0$
Résonance deutérium $\zeta \neq 0 - \zeta = 0$
100
200
300
400
500
Jours



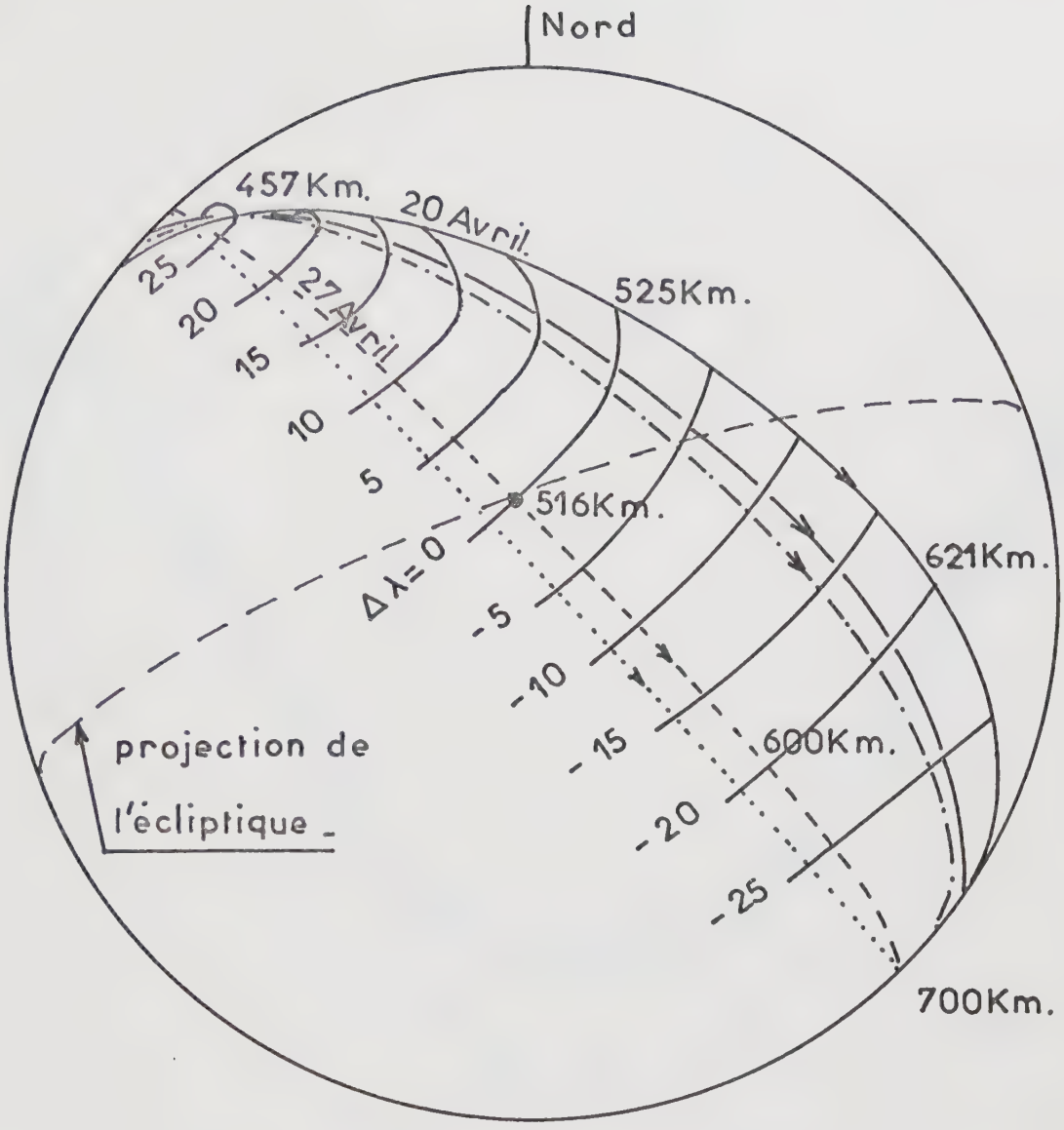
_ Figure 65 _

Données brutes de 21 mois de fonctionnement : flux à 2800 MHz, Température, Mesures, Incidents.



_ Figure 66 _

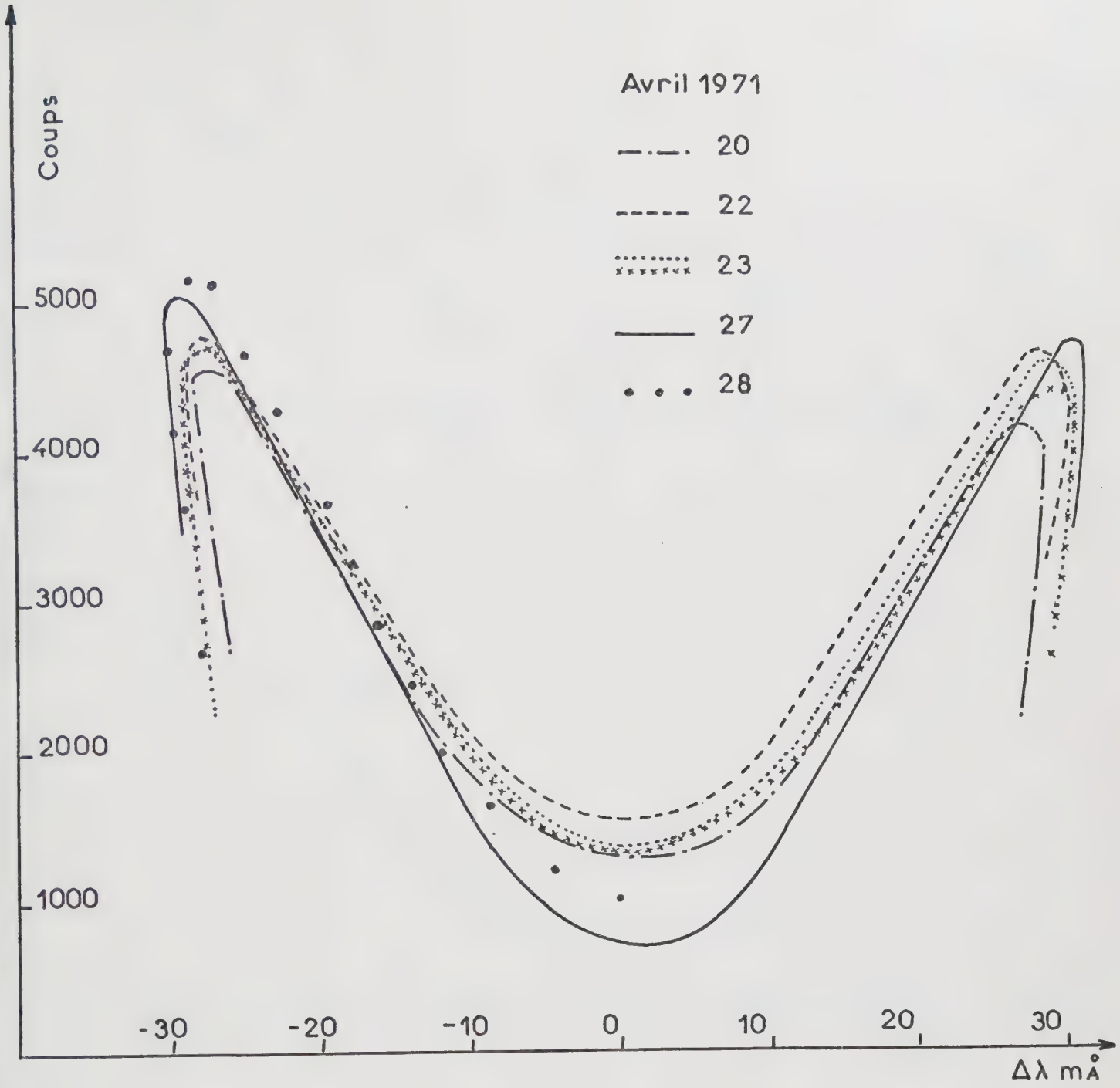
Variation dans le temps de la sensibilité de différentes voies de mesure.



_ Figure 67 _

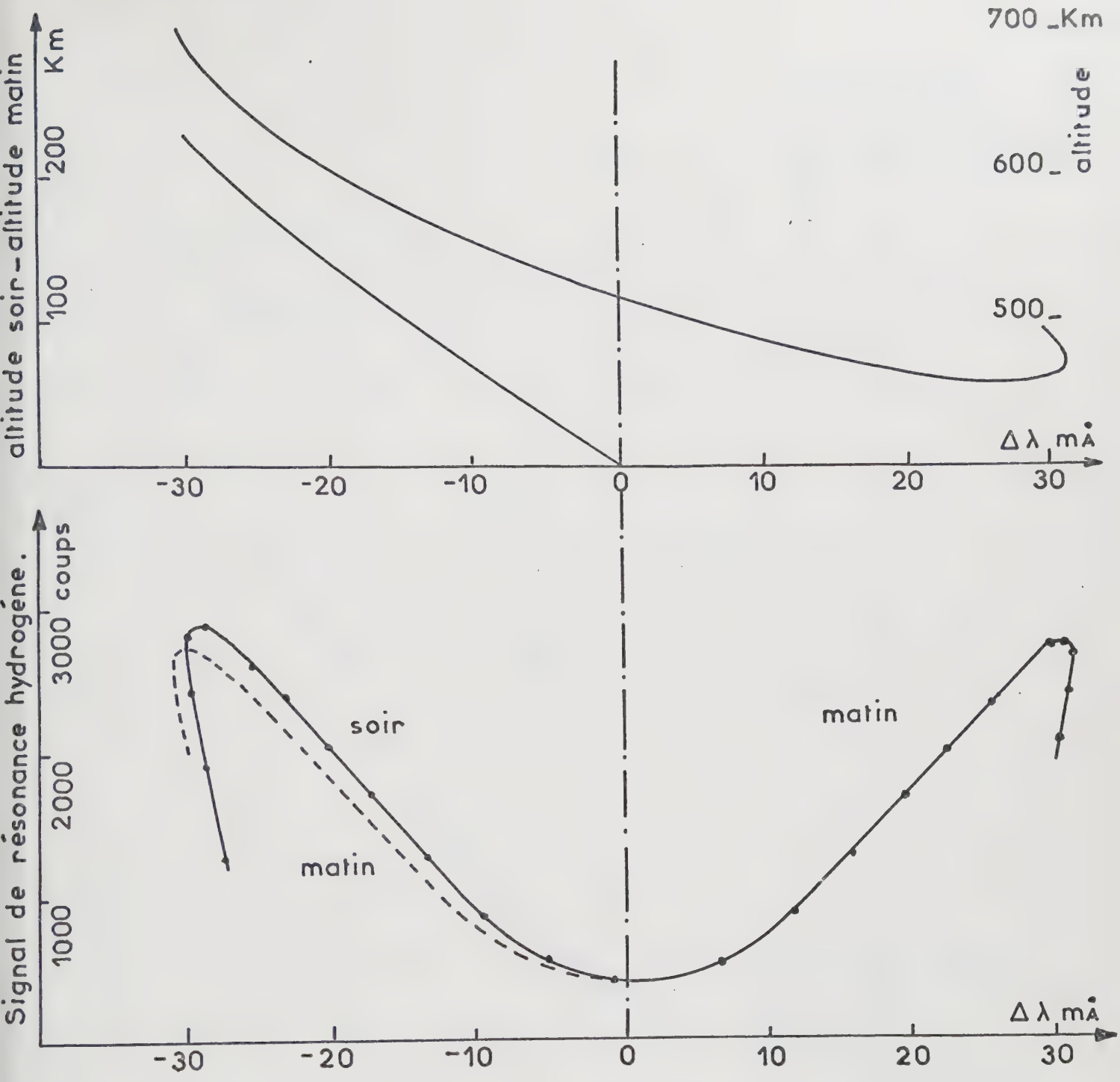
Projection de différentes orbites sur la terre _

(20_28 Avril 1971)



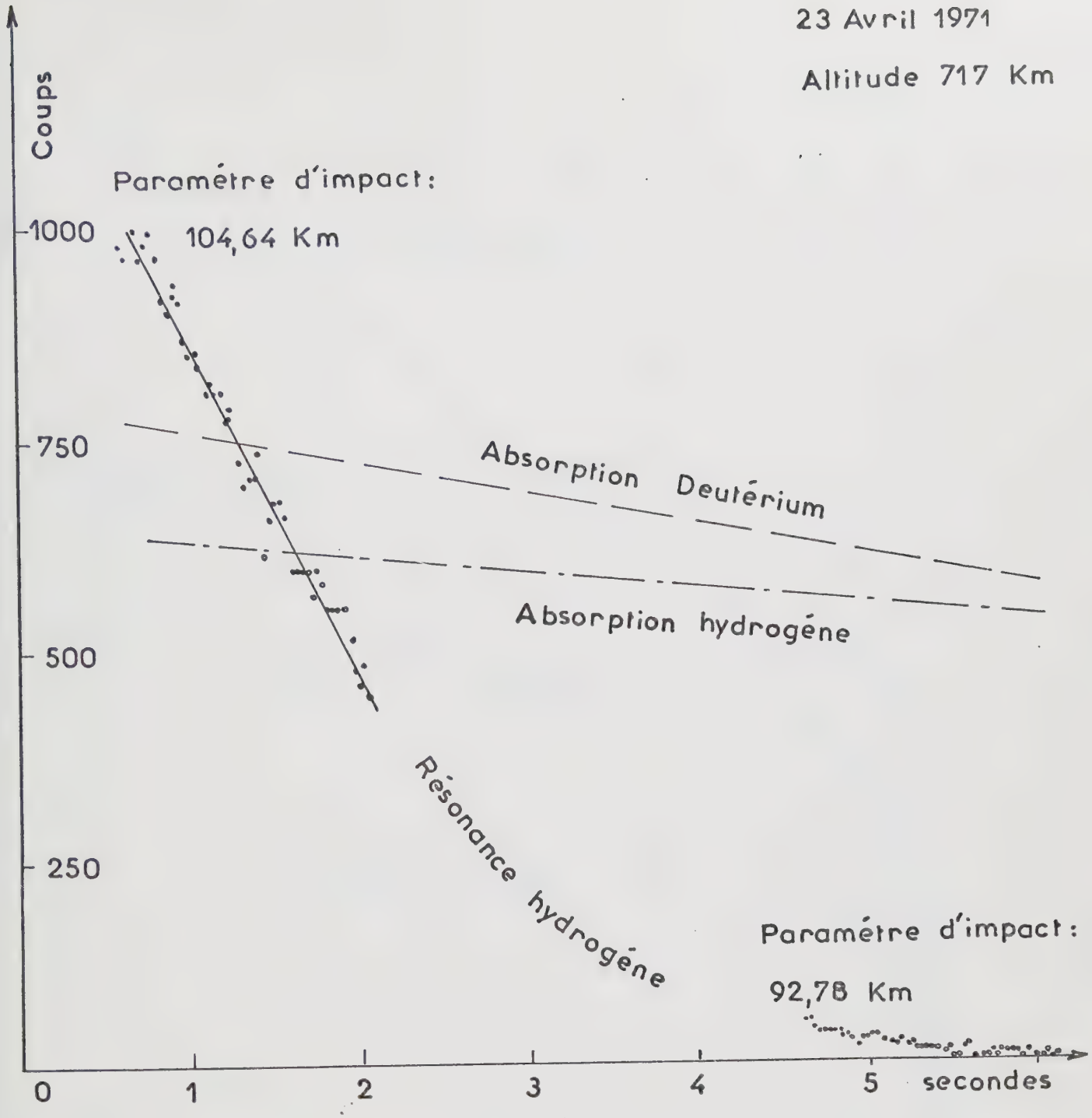
_ Figure 68 _

Signal résonance hydrogéne du 20 au 28 Avil 1971.



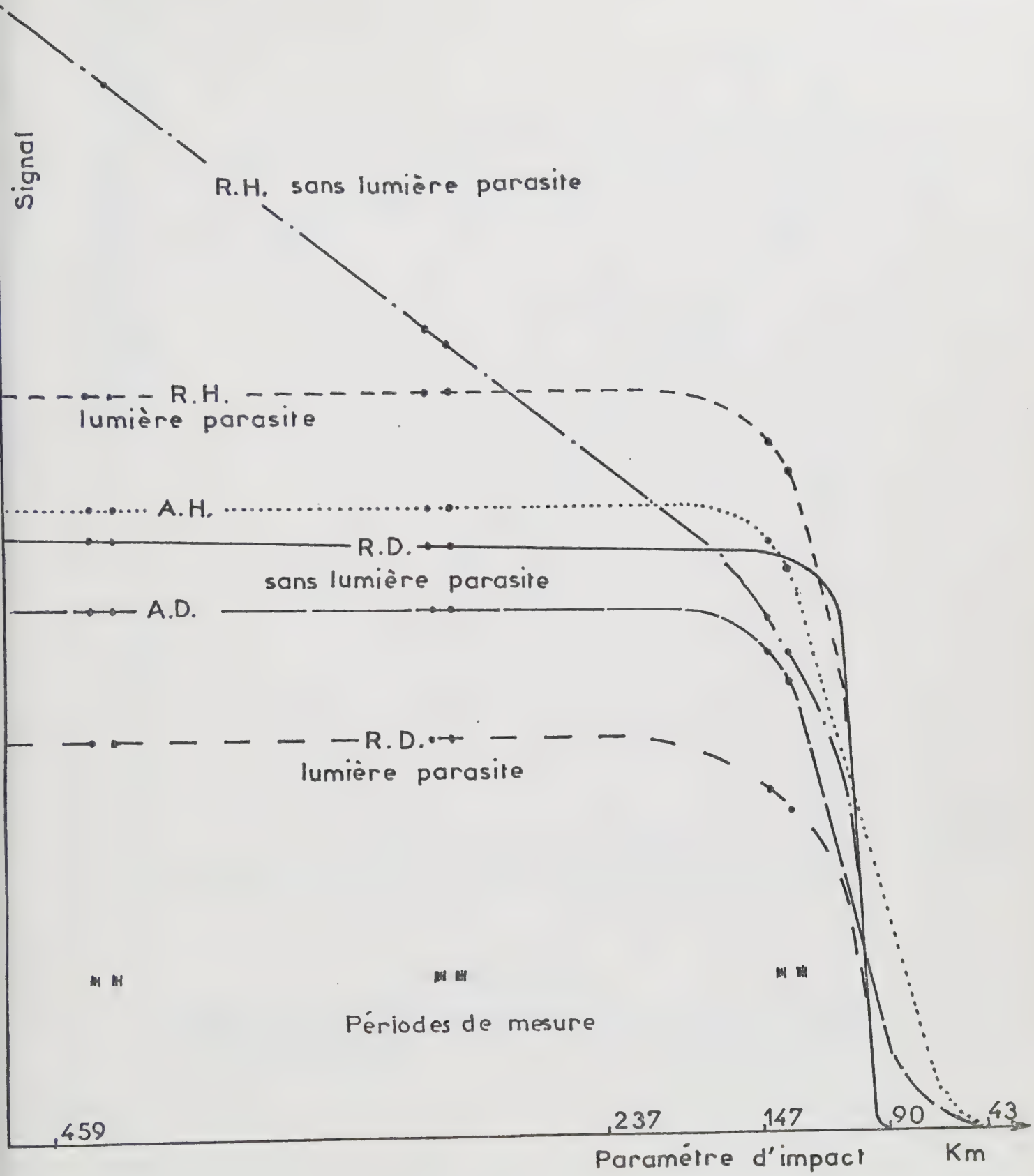
_ Figure 69 _

Révolution 178 _ Dissymétrie matin/soir du signal de résonance hydrogéne . Lien avec la différence d'altitude.



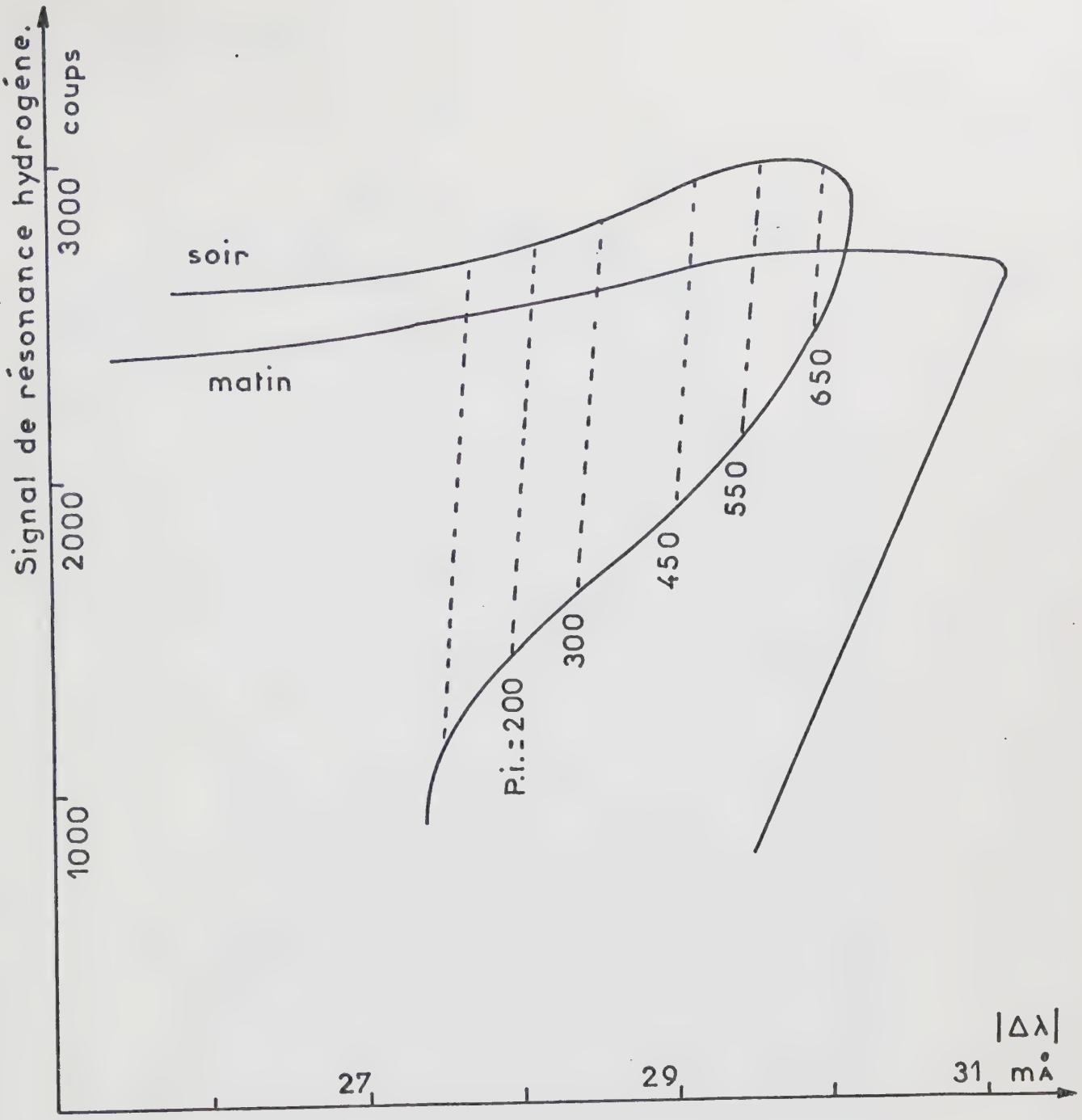
_ Figure 70 _

Evolution de différents signaux au cours d'un crépuscule.



_ Figure 71 _

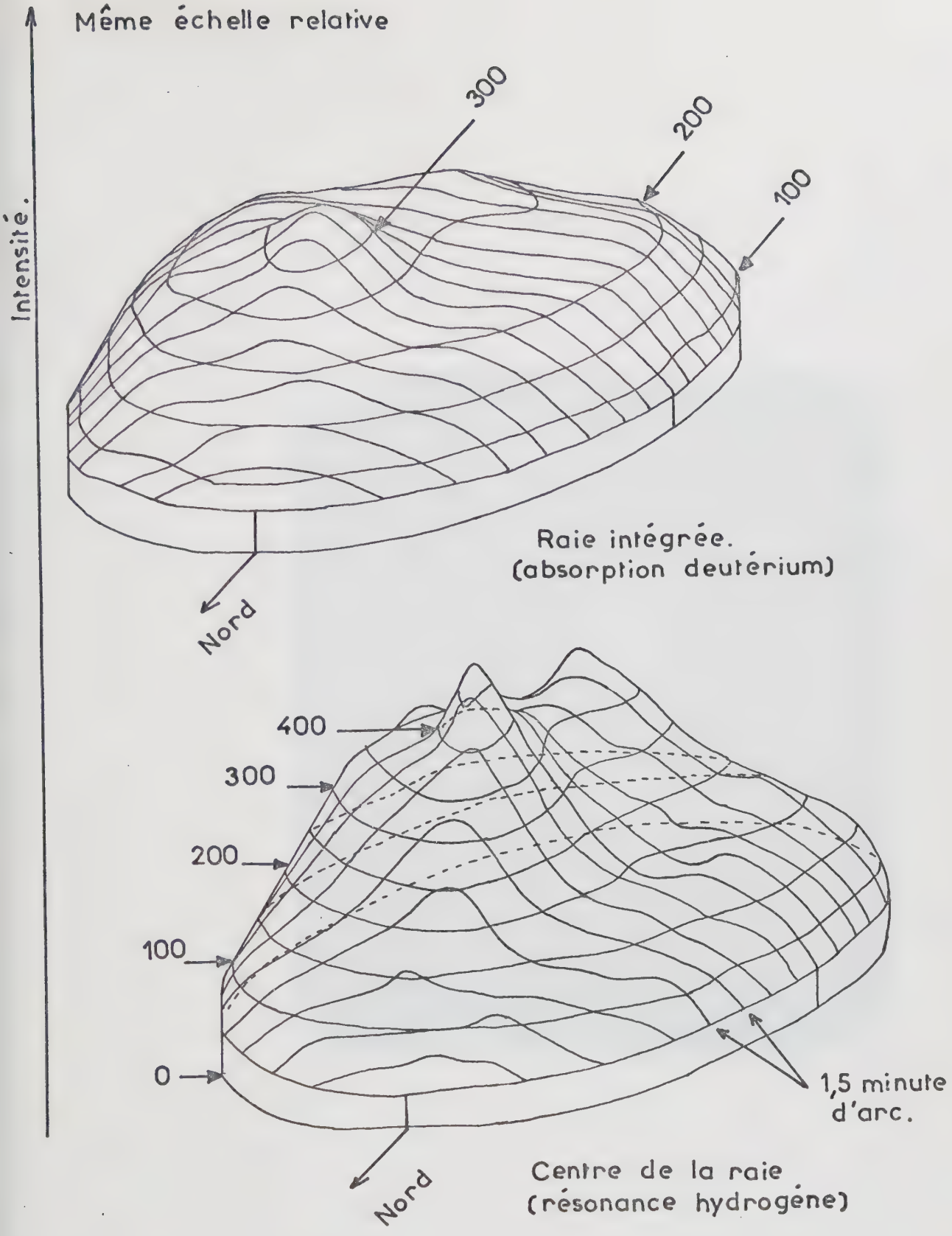
Extinction des différents signaux au crépuscule.



_ Figure 72 _

Mesure directe d'épaisseurs optiques géocoronales.

(27 Avril 1971)



_ Figure 73 _

Cartes du soleil en Lyman-alpha.

(19 Avril 1971 : 3h)

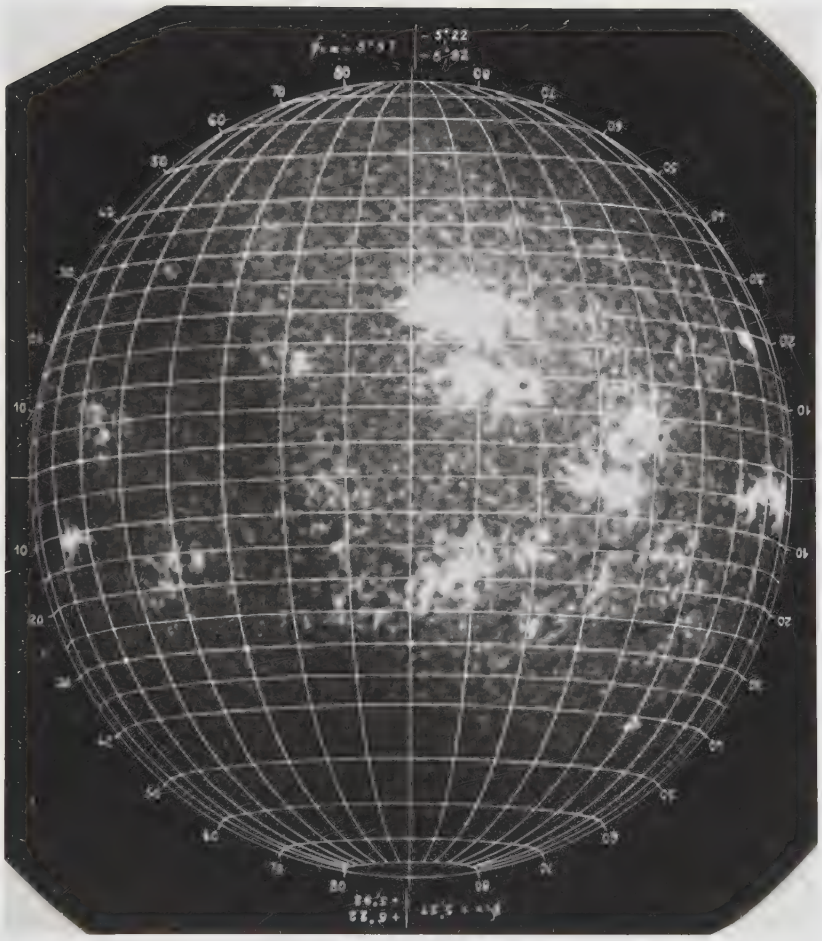
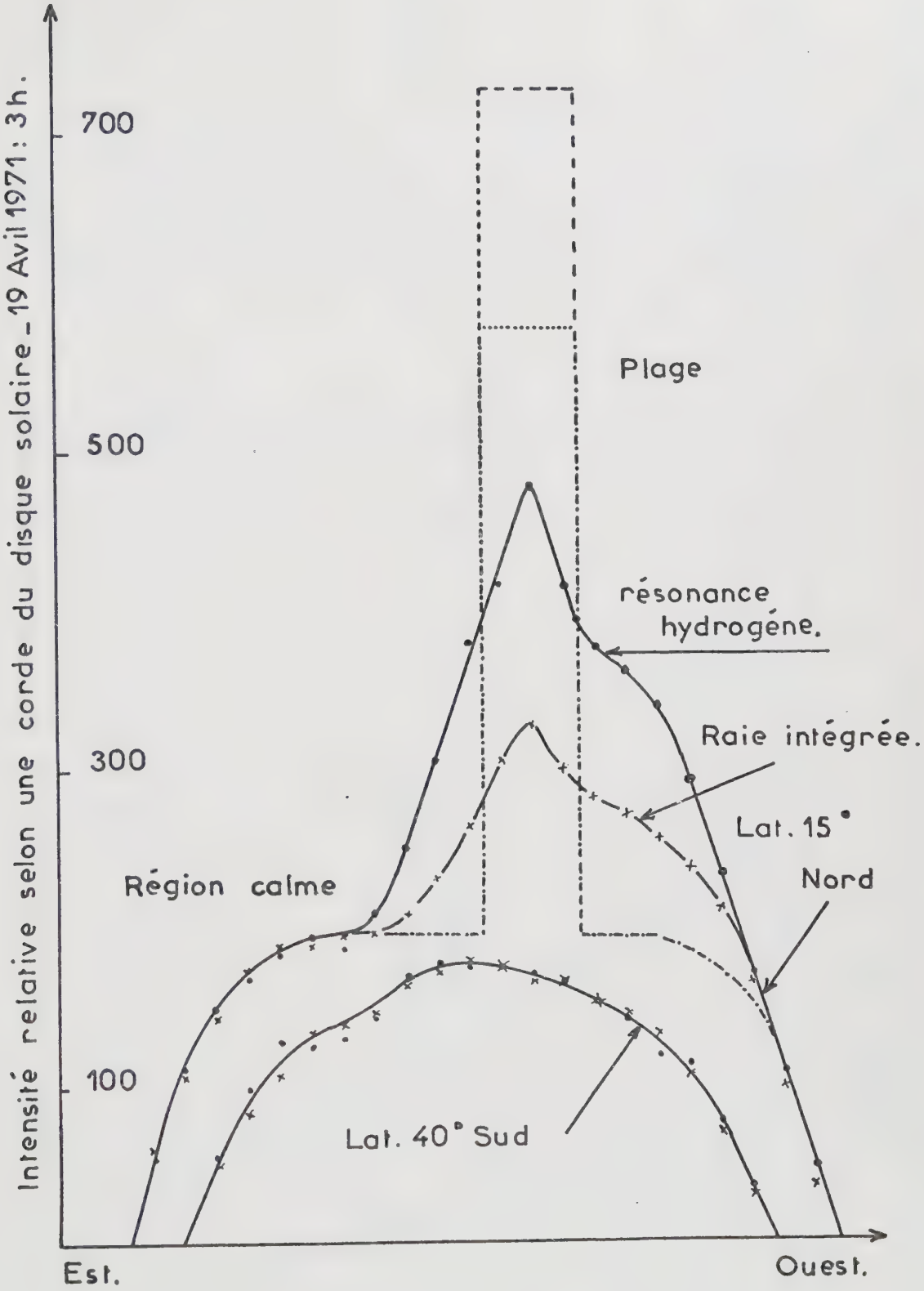
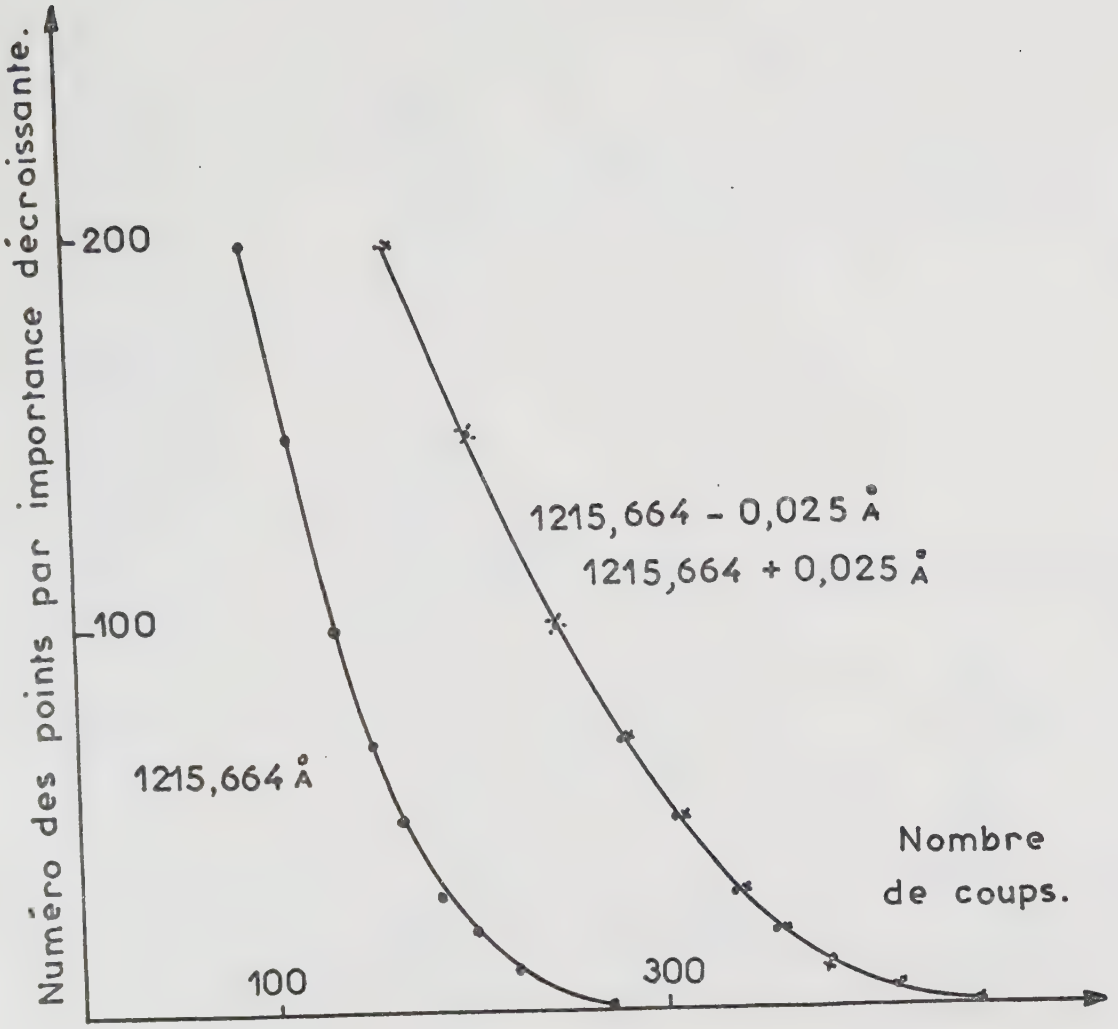


Fig. 74 - Spectrohéliogramme solaire
(19 Avril 1971)

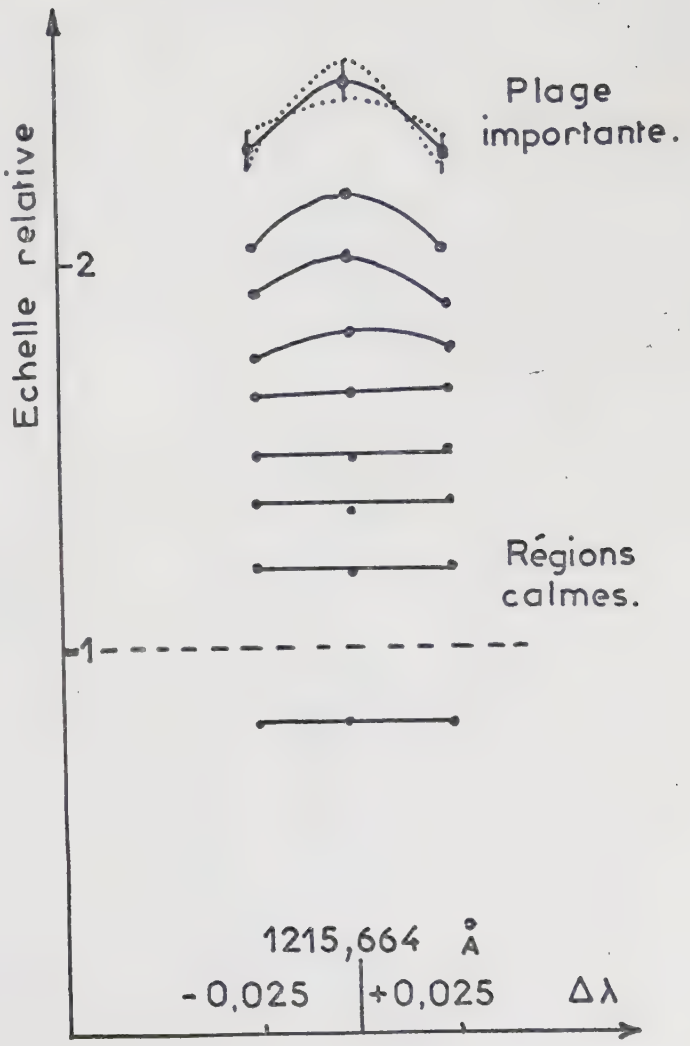

Intensité relative selon une corde du disque solaire_19 Avil 1971 : 3h.
700
500
300
100
Plage
résonance hydrogéne.
Raie intégrée.
Lat. 15° Nord
Région calme
Lat. 40° Sud
Est.
Ouest.

_ Figure 75 _



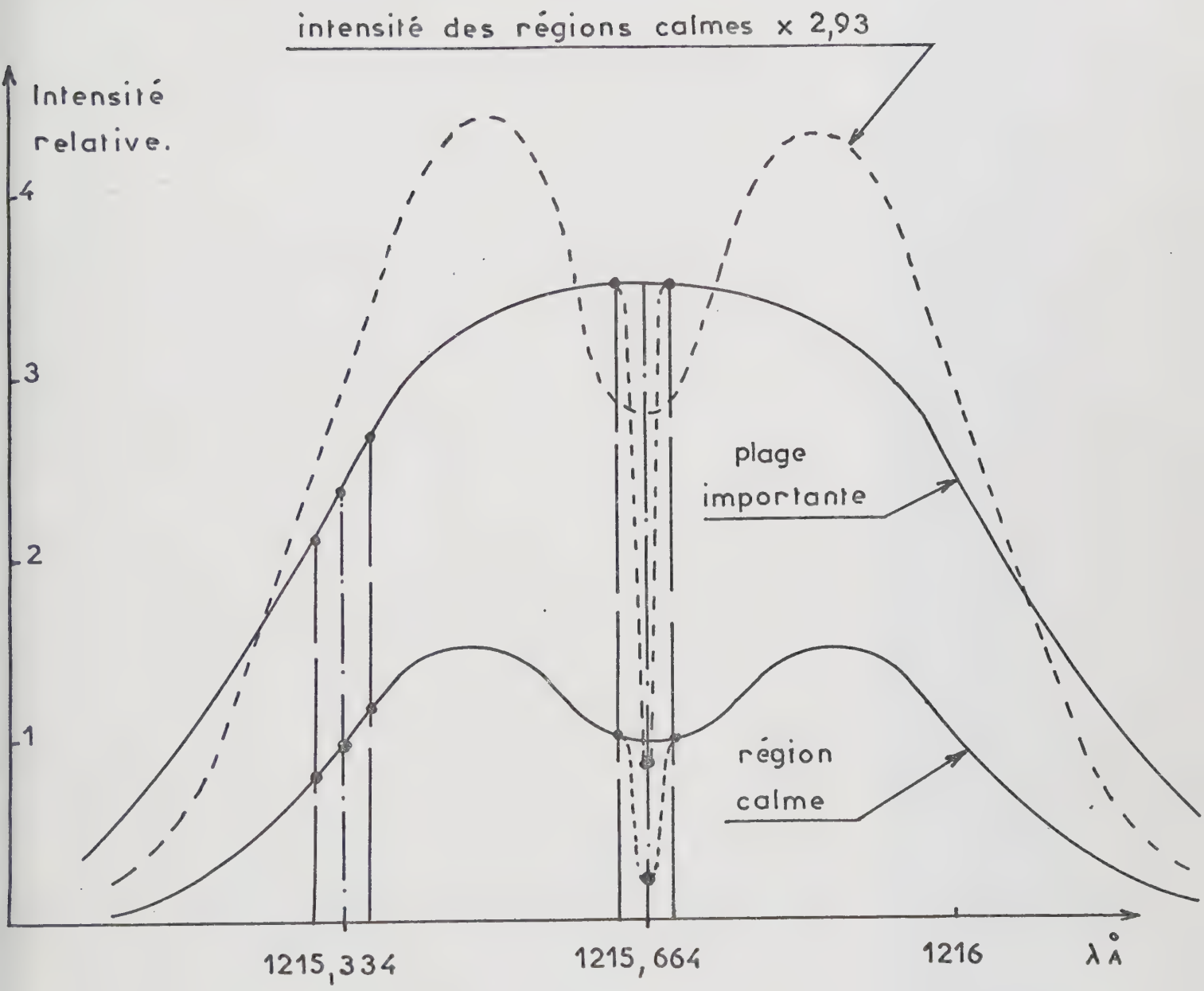
_ Figure 76 A _

Histogramme des éléments des images lissées au voisinage du centre de la raie.



_ Figure 76 B _

Evolution relative du profil.



_ Figure 77 _

Emission Lyman-α d'une forte plage comparée à celle d'une région calme.

Tournesol.

2e THESE (Propositions faites par l'Université) :

PRESIDENT.M.BLAMONT
EXAMINATEURS.MM.DELLOUE
Mme.PICK
M.DELACHE

Vu et Approuvé

PARIS, le 12 Juillet 1973

Le Président

de l'Université de PARIS VI

ACADEMIE DE PARIS
UNIVERSITÉ PARIS VI

Sc.3e c. 72-09

ACADÉMIE DE PARIS

UNIVERSITÉ DE PARIS VI

4, Place Jussieu - 75230 PARIS-CEDEX 05

SERVICE DE LA SCOLARITE

Bureau des Enseignements du 3e cycle

TÉLÉPHONE : 336-25-25 - 325-12-21

PERMIS D'IMPRIMER

DOCTORAT : D'ETAT

THESE DE : SCIENCES APPLIQUEES

NOM : Monsieur CHARRA

Prénoms : Jacques Marie

né le 22 Janvier 1941 à Décazeville Dépt : Aveyron

1ère THESE : " Observations à haute résolution de l'émission Lyman-alpha